

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
10. Februar 2005 (10.02.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/011544 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **A61F 9/008**,
9/009, 9/01

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/007733

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Juli 2004 (13.07.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
103 33 562.5 23. Juli 2003 (23.07.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **CARL ZEISS MEDITEC AG** [DE/DE];
Göschwitzer Strasse 51-52, 07745 Jena (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **DICK, Manfred**

[DE/DE]; Birkenweg 9, 07926 Gefell (DE). **VOGEL-
SANG, Hartmut** [DE/DE]; Seidelstrasse 10, 07749 Jena
(DE).

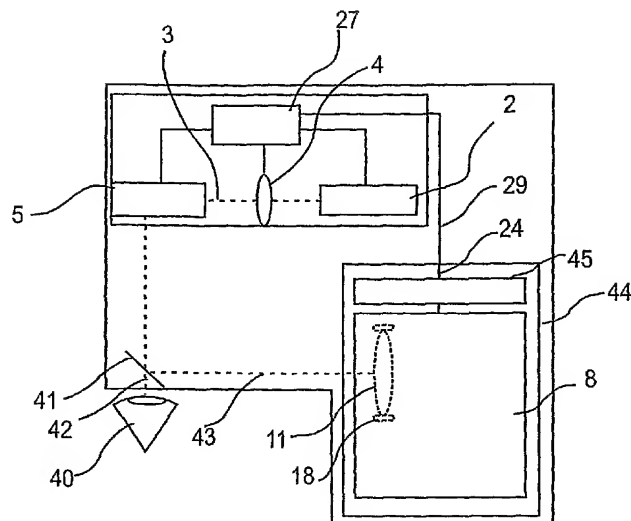
(74) Anwälte: **BREIT, Ulrich** usw.; Geyer, Fehners & Partner,
Perhamerstrasse 31, 80687 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD, DEVICE AND SYSTEM FOR DETERMINING A SYSTEM PARAMETER OF A LASER BEAM TREAT-
MENT SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN, VORRICHTUNG UND SYSTEM ZUR BESTIMMUNG EINES SYSTEMPARAMETERS EI-
NES LASERSTRAHL-BEHANDLUNGSSYSTEMS



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining an actual value of at least one system parameter or a deviation from a set value of at least one parameter of a system (1; 25; 37; 46) for the treatment of an eye (40) using a treatment laser beam (3) emitted by said system (1; 25; 37; 46). According to the invention, the surface of a calibrating body (11) is ablated with at least a partial beam of the treatment laser beam (3) with a predetermined ablation program. The surface ablated by the treatment laser beam (3) is examined by means of aberrometry and/or profilometry. The actual value of the system parameter or the deviation from the set value of the system parameter is determined on the basis of the examination data detected during the examination.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/011544 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) **Zusammenfassung:** Bei einem Verfahren zur Bestimmung eines Ist-Wertes wenigstens eines Systemparameters oder eine Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters eines Systems (1; 25; 37; 46) zur Behandlung eines Auges (40) mittels eines von dem System (1; 25; 37; 46) abgegebenen Behandlungslaserstrahls (3), wird eine Oberfläche eines Kalibrierkörpers (11) mit wenigstens einem Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls (3) mit einem vorgegebenen Ablationsprogramm abladiert. Die von dem Behandlungslaserstrahl (3) abladierte Oberfläche wird mittels Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht und aus bei der Untersuchung ermittelten Untersuchungsdaten wird der Ist-Wert des Systemparameters oder die Abweichung von dem Soll-Wert des Systemparameters bestimmt.

Verfahren, Vorrichtung und System zur Bestimmung eines Systemparameters eines Laserstrahl-Behandlungssystems

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung von Ist-Werten und/oder Abweichungen von Soll-Werten wenigstens eines Systemparameters eines Behandlungssystems zur Behandlung eines Auges mit einem Laserstrahl und auf Mittel zur Durchführung des Verfahrens.

10

Die Laserchirurgie der Hornhaut des menschlichen Auges stellt ein etabliertes Verfahren zur Behandlung von Sehfehlern dar, die durch Abweichungen der Form der Hornhaut des Auges von der Idealform bedingt sind. Dabei wird mit einem Behandlungslaser, beispielsweise einem Excimer-Laser, von der Hornhaut Material z.B. ablativ entfernt.

15

Zur Durchführung der Behandlung können insbesondere sogenannte Spotscanning-Systeme verwendet werden, bei denen ein Behandlungslaserstrahl des Behandlungssystems bzw. der entsprechende Behandlungslaserstrahlfleck mittels einer auch als Scan-Einheit bezeichneten Ablenkeinrichtung entsprechend einem vorgegebenen Ablationsprogramm über die Hornhaut bewegt wird und an vorgegebenen Stellen eine Ablation bewirkt. Die verwendeten Laser zeichnen sich in erster Linie durch einen kleinen effektiven Spotdurchmesser aus, der es erlaubt, kleine Flächen auf der Hornhaut zu ablatieren und damit lokal die Brechkraft der Hornhaut und des Auges zu modifizieren.

20

25

Diese Behandlungsmethode läßt patientenindividuelle Korrekturen zu, die auch als "Customized Ablation" bezeichnet werden. Diese Korrekturen umfassen nicht nur die sphärozyklindrische Korrektur von Sehfehlern, sondern auch die Korrektur von Hornhautirregularitäten, insbesondere auch räumlich sehr kleinen Artefakten, und höheren Aberrationen, d.h. insbesondere auch durch hohe Raumfrequenzen charakterisierten Abbildungsfehlern höherer

30

Ordnung, des Auges.

Zur Behandlung wird zunächst eine Messung der Hornhauttopographie bzw. eine Untersuchungen des Auges mittels Aberrometern durchgeführt, um die Irregularitäten bzw. Aberrationen zu erfassen.

5

Für die jeweilige Korrektur werden dann vor der Operation mittels entsprechender Programme Ablationsprogramme berechnet, die unter anderem auf Erfahrungswerten für das Ablationsverhalten der Hornhaut basieren und als Funktion der Zeit die Führung des Behandlungslaserstrahls und dessen Intensität festlegen. Mit dem von dem Behandlungssystem entsprechend dem berechneten Ablationsprogramm abgegebenen und geführten Behandlungslaserstrahl wird dann Material von der Hornhaut ablatiert.

10

Die Abtragstiefen innerhalb der Hornhaut betragen bei der Korrektur von Aberrationen höherer Ordnungen in der Regel nur einen Bruchteil der Abtragstiefen, die für die Korrektur der Refraktion niedriger Ordnung, insbesondere einer sphärozyklindrische Korrektur, nötig sind. Während bei sphärozyklindrischen Korrekturen ca. 12 µm Abtrag pro Dioptrie auf einer 6 mm Behandlungspupille nötig sind, werden bei der Korrektur höherer Aberrationen die nötigen lokalen Brechkraftänderungen bereits bei geringem Abtrag, d.h. meist schon mit einem oder wenigen Laserpulsen erreicht.

20

Bei sphärozyklindrischen Korrekturen können sich daher Schwankungen von Systemparametern des Behandlungssystems, beispielsweise der Behandlungslaserparameter (wie z.B. der Fluence des Lasers), während der Ablation statistisch herausmitteln, so daß eine besonders genaue Einhaltung der Werte der Systemparameter zwar wünschenswert, aber nicht kritisch ist. Bei der Korrektur höherer Aberrationen dagegen kann, bedingt durch die geringe Anzahl der Behandlungslaserpulse, von einem statistischen Ausgleich bei Schwankungen von Systemparametern des Behandlungssystems während der Ablation und damit eine Glättung des Ablationsmusters auf der Hornhaut in der Regel nicht mehr ausgegangen werden. Die genaue Einhaltung vorgegebener Werte der Systemparameter ist daher bei der Korrektur kleinster Details auf der Hornhaut und/oder der Behandlung von Sehfehlern, die höheren Aberrationen entsprechen und die durch hohe Raumfrequenzen charakterisiert sind, kritisch.

30

Für die Qualität der Behandlung ist deshalb geräteseitig neben der Standardisierung der Behandlungsatmosphäre und der Präzision und Schnelligkeit einer Einrichtung zur Verfolgung von Augenbewegungen während der Behandlung, bei der es sich beispielsweise um einen sog. "Eye Tracker" handeln kann, insbesondere auch die Stabilität und die Qualität der Kalibrierung des Lasersystems und der Ablenkeinrichtung wichtig.

35

Die Behandlungssysteme werden deshalb zur Einhaltung der vorgegebenen Werte der Systemparameter sowohl werkseitig als auch später bei Wartungsarbeiten entsprechend abgeglichen. Hierzu sind im Wesentlichen zwei Verfahren bekannt.

- 5 Beim sogenannten Fluencetest wird mit dem Behandlungssystem, das einen Behandlungslaser besitzt, nach einem speziell für diesen Test ausgelegten Ablationsprogramm eine vorgegebene Testfolie behandelt, auf der ein entsprechendes Muster entsteht. Lokale Durchbruchschwellen in der Testfolie gestatten dabei eine Nachregelung der Pulsenergie des Behandlungslasers. Mit diesem Verfahren kann zum einen näherungsweise die Halbwertsbreite des Spotdurchmessers
10 des Behandlungslaserstrahls bestimmt werden. Zum anderen können Kontrollinformationen über die Qualität des Scannersystems des Behandlungssystems erhalten werden.

- Bei einem anderen Verfahren können vorgegebene sphärozyklindrische PMMA-Linsen mit einem Ablationsprogramm zur sphärozyklindrischen Korrektur ablatiert werden. Die Brechkraft der so
15 erhaltenen Linsen kann, z. B. durch eine Brennweitenbestimmung, beispielsweise mittels eines sog. Lensmeters, bis auf ca. 0,1 Dioptrie genau bestimmt und mit einem erwarteten Soll-Wert für die Brechkraft verglichen werden. Zur Kalibrierung wird dann die Pulsenergie nachgeregelt.

- Bei bekannten Behandlungsverfahren wird während der Behandlung auch die Pulsenergie bzw.
20 Fluence des Behandlungslasers online gemessen, was eine Nachregulierung zur Verbesserung der Behandlungserfolge während der Ablationsprozedur der Behandlung gestattet.

- Die Verfahren erlauben jedoch nicht eine Bestimmung weiterer Systemparameter des Behandlungssystems, die bei den eingangs genannten Genauigkeitsanforderungen,
25 insbesondere für eine "Customized Ablation" einen erheblich Einfluß haben können. Weiter wird nur eine indirekte Kontrolle über das Ablationsverhalten des Behandlungssystems aus der Messung der Energie erhalten. Der reale Ablationsfortschritt bei der Behandlung kann nicht gemessen werden, so daß man bei der Nachstellung auf Erfahrungswerte angewiesen ist. Deshalb begrenzen Fluktuationen der Systemparameter während der Behandlung immer noch
30 die Präzision der Behandlung.

- Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu schaffen, mit der ein Ist-Wert eines Systemparameters oder eine Abweichung von einem Soll-Wert des Systemparameters eines Systems zur Behandlung eines Auges mit Laserstrahlung bestimmbar
35 ist, sowie eine entsprechende Behandlungsvorrichtung bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Bestimmung eines Ist-Wertes wenigstens eines Systemparameters oder einer Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines

Systemparameters eines Augenbehandlungs-Systems mittels eines vom Augenbehandlungs-System abgegebenen Behandlungslaserstrahls, wobei eine Oberfläche eines Kalibrierkörpers mit wenigstens einem Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls gemäß einem vorgegebenen Ablationsprogramm ablatiert wird, die von dem Behandlungslaserstrahl ablatierte Oberfläche
5 mittels Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht, und aus bei der Untersuchung ermittelten Untersuchungsdaten der Ist-Wert des Systemparameters oder die Abweichung von dem Soll-Wert des Systemparameters bestimmt wird.

Die Aufgabe wird weiter gelöst durch eine Systemparameterbestimmungsvorrichtung zur
10 Bestimmung wenigstens eines Ist-Wertes eines Systemparameters oder einer Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters eines Augenbehandlungs-Systems mittels eines von dem System abgegebenen Behandlungslaserstrahls, mit einer Einrichtung zur Untersuchung wenigstens eines Abschnitts einer ablatierten Oberfläche eines ablatierten Kalibrierkörpers mit Aberrometrie und/oder Profilometrie, und einer mit der
15 Untersuchungseinrichtung verbundenen Auswerteeinrichtung, die aus den bei der Untersuchung ermittelten Untersuchungsdaten den Ist-Wert des Systemparameters oder die Abweichung von dem Soll-Wert des Systemparameters bestimmt.

Unter einem Augenbehandlungs-System wird dabei ein System verstanden, das einen
20 Behandlungslaser zur Abgabe eines Behandlungslaserstrahls, eine Ablenkeinrichtung zur Ablenkung des Behandlungslaserstrahls sowie eine Steuereinrichtung, welche die Abgabe und Positionierung des Behandlungslaserstrahls räumlich und zeitlich steuert, umfaßt.

Weiter wird die Aufgabe gelöst durch ein Augenbehandlungs-System, das einen
25 Behandlungslaser zur Abgabe eines Behandlungslaserstrahls, eine Ablenkeinrichtung zur Ablenkung des Behandlungslaserstrahls, eine Steuereinrichtung, welche die Abgabe und Positionierung des Behandlungslaserstrahls räumlich und zeitlich steuert, einen Halter für einen mit wenigstens einem Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls zur Ablation beaufschlagten Kalibrierkörper, sowie eine erfindungsgemäße Systemparameterbestimmungsvorrichtung zur
30 Bestimmung wenigstens eines Ist-Wertes oder eine Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters des Augenbehandlungs-Systems umfaßt.

Das Augenbehandlungs-System im Sinne der Erfindung kann grundsätzlich für beliebige
Behandlungen des Auges ausgelegt sein. Die Erfindung eignet sich jedoch insbesondere für
35 Behandlungssysteme zur ablativen Korrektur der Hornhaut des Auges.

Unter einem Systemparameter wird jeder Parameter verstanden, der den Zustand und/oder die Funktion des Behandlungssystems beschreibt. Als Systemparameter können insbesondere

physikalisch unmittelbar erfaßbare Größen und/oder auch empirisch bzw. operational definierte Größen dienen.

Weiter können die Systemparameter Parameter in Bezug auf Eigenschaften des
5 Behandlungslaserstrahls und Parameter in Bezug auf die Ablenkung des
Behandlungslaserstrahls umfassen. Dabei können die Systemparameter insbesondere den
physikalischen Zustand des Behandlungssystems, beispielsweise die Justierung des
Behandlungslasers und/oder der Ablenkeinrichtung, die Funktion, beispielsweise Eigenschaften
des abgegebenen Laserstrahls, oder auch Steuerungsparameter oder ein Steuerprogramm der
10 Steuereinrichtung betreffen.

Liegen als Untersuchungsdaten Topographie- und/oder Aberrometriedaten, insbesondere
Wellenfrontdaten des abladierten Kalibrierkörpers, vor, ist es bevorzugt, daß der
Systemparameter ausgewählt ist aus der Gruppe: Zentrierung und/oder Lage der
15 Ablenkeinrichtung bezogen auf eine Einrichtung zur Verfolgung der Augenbewegung; die
mittlere Gesamtfluence und/oder -Energie und/oder -Leistung des Behandlungslaserstrahls; die
Halbwertsbreite des Behandlungslaserstrahls; Angaben über die Spotform des
Behandlungslaserstrahls; die Energieverteilung im Behandlungs-Spot, insbesondere Hotspots
darin; die Ausprägung der Übergangszone zwischen optisch aktiver und inaktiver Ablationszone
20 und deren Beziehung zu den Strahlparametern; die Kurz- und Langzeitstabilität bzw.
Fluktuationen der Gesamtfluence und/oder -Energie und/oder -Leistung des
Behandlungslaserstrahls; die Kurz- und Langzeitdrift der Ablenkeinrichtung; die Abweichungen
vom optimalen Arbeitsabstand, die Effizienz der Absaugung bzw. -Entfernung von Rauchgas,
das bei der Ablation aus dem abladierten Material entsteht; die Temperaturstabilität und die
25 Abhängigkeit der Systemparameter von anderen Umgebungsparametern. Bei der Einrichtung
zur Verfolgung der Augenbewegung kann es sich insbesondere um "eye tracker" oder eine
Limus-Erkennung, bei der die Bewegung von Äderchen im Auge verfolgt wird, handeln.

Erfindungsgemäß wird der Ist-Wert oder die Abweichung des Ist-Wertes von dem Soll-Wert des
30 Systemparameters nicht direkt, sondern indirekt über die Ablation eines Kalibrierkörpers
überprüft. Das Verfahren basiert unter anderem darauf, daß Abweichungen der Ist-Werte
bestimmter Systemparameter bestimmte charakteristische Veränderungen in den lokalen
optischen Eigenschaften, insbesondere in der Topographie bzw. Form der Oberfläche, des
abladierten Kalibrierkörpers zur Folge haben, die mittels Aberrometrie- und/oder Profilometrie
35 erfaßbar sind. Aus den Untersuchungsdaten der Aberrometrie und/oder der Profilometrie, d.h.
Aberrometrie und/oder Topographiedaten, können Ist-Werte des Systemparameters oder
Abweichungen des Systemparameters von einem entsprechenden Soll-Wert bestimmt werden,

indem beispielsweise bekannte Zusammenhänge zwischen Systemparametern und Ablationsprofilen verwendet werden.

5 Für die oben genannten Systemparameter ist deren (auch kombinierter) Einfluß auf das erzielte Ablationsprofil bekannt. Als Beispiel sei die Ablationstiefe als Funktion der Laserfluence oder die Form und Tiefe der Übergangszone bzw. die Formabweichungen bestimmter, im Kalibrierkörper erzeugter höherer Aberrationen, als Funktion der Spotform genannt.

10 Der Kalibrierkörper besitzt vor der Ablation eine genau bestimmte, für die Durchführung des Verfahrens geeignete Oberfläche und zumindest im Bereich möglicher Ablationen ein vorgegebenes Ablationsverhalten. Die optischen Eigenschaften des Kalibrierkörpers werden vorzugsweise in Abhängigkeit von der für die Untersuchung der Oberfläche verwendeten Untersuchungsmethode gewählt. Beispielsweise kann der Kalibrierkörper bei Verwendung von Aberrometern transparent für die bei dem Aberrometer verwendete optische Strahlung sein, bei 15 Verwendung bestimmter Verfahren zur Profilometrie dagegen vorzugsweise absorbierend oder reflektierend.

Im Halter für den mit wenigstens einen Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls beleuchteten Kalibrierkörper wird der Kalibrierkörper während der Ablation mit dem Behandlungslaserstrahl 20 oder dessen Teilstrahl gehalten. Der Kalibrierkörper kann dabei gegebenenfalls in einer Fassung gefaßt sein, die mechanisch genau und reproduzierbar in den Halter und damit den Strahlengang des Behandlungslaserstrahls oder des Teilstrahls eingesetzt werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann auch die erfindungsgemäße Systemparameterbestimmungsvorrichtung einen Halter für den Kalibrierkörper aufweisen, in dem der Kalibrierkörper während 25 der Ablation gehalten ist. Die Systemparameterbestimmungsvorrichtung ist dann für beliebige Behandlungssysteme einsetzbar.

30 Zur Überprüfung des Systemparameters wird auf dem Kalibrierkörper gemäß einem vorgegebenen Ablationsprogramm ein vorgegebenes Ablationsmuster bei gegebenen Systemparametern des Augenbehandlungs-Systems abladiert.

Die Ablation kann mit dem Behandlungslaserstrahl oder auch nur einem Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls erfolgen. Bei Verwendung des Teilstrahls ist natürlich sicherzustellen, daß es bekannt ist, wie die Eigenschaften des Teilstrahls von denen des Behandlungslaserstrahls abhängen. Dies kann z.B. durch einen geeigneten Strahlteiler erreicht werden. 35

Die Ablation kann dabei, je nach Material des Kalibrierkörpers, nicht nur eine Änderung dessen Form, sondern auch lokale Änderungen des Brechungsindex durch laserinduzierte Änderungen des Materials des Kalibrierkörpers bewirken.

- 5 Zur Erzielung eines vorgegebenen Ablationsmusters am Kalibrierkörper oder Auge wird der Behandlungslaserstrahl gemäß einem Ablationsprogramm, d.h. einem vorgegebenen zeitlichen und örtlichen Intensitätsverlauf des Behandlungslaserstrahls auf dem Kalibrierkörper bzw. Auge, gesteuert.
- 10 Bei dem Ablationsprogramm bzw. dem vorgegebenen Ablationsmuster kann es sich zum einen um ein nur für die Prüfung vorgesehenes Ablationsprogramm bzw. -muster handeln, das auf der Basis von speziell festgelegten theoretischen und/oder realen Aberrations- und/oder Topographie- und/oder Wellenfrontdaten berechnet wurde und eine besonders gute Untersuchung und Auswertung der bei der Aberrometrie oder Profilometrie erfaßten Daten,
- 15 beispielsweise Topographie- und/oder Wellenfrontdaten, insbesondere bei gleichzeitiger Untersuchung in Bezug auf mehrere Systemparameter gleichzeitig, erlaubt. Das Ablationsmuster kann beliebige Oberflächenprofile, beispielsweise eine Sphäre, einen Zylinder, Einzelspots in vorgegebener Geometrie, Serien von Excimer-Laserspots in vorgegebener Geometrie oder Aberrationen höherer Ordnung, umfassen. Insbesondere ist es bevorzugt, daß
- 20 das Ablationsprogramm derart ausgelegt ist, bei der Ablation ein Oberflächenprofil auf dem Kalibrierkörper zu erzeugen, das bei Untersuchung mit optischer Aberrometrie oder mit Profilometrie Aberrationen höherer Ordnung, d.h. mit hohen Raumfrequenzen zeigt.

- Es kann jedoch auch ein für die Behandlung vorgesehenes Ablationsprogramm benutzt werden,
- 25 so daß unmittelbar vor der Operation die aufgrund des aktuellen Zustands des Lasersystems erreichbare Qualität überprüft und ggf. nachreguliert oder zu einer Anpassung der Ablationsprofile genutzt werden kann.

- Wenigstens ein Teil der abladierten Oberfläche des Kalibrierkörpers wird dann mittels
- 30 Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht. Die erfindungsgemäße Systemparameterbestimmungsvorrichtung verfügt hierzu über die Untersuchungseinrichtung, die insbesondere ein Aberrometer und/oder ein Profilometer umfassen kann.

- Unter Aberrometrie des Kalibrierkörpers wird dabei insbesondere die Erfassung der Ablenkung
- 35 von Strahlen oder Strahlenbündeln bei Durchtritt durch den Kalibrierkörper in Abhängigkeit vom Ort des Durchtritts bzw. der lokalen Ablenkung einer Wellenfront bei Durchtritt durch den Kalibrierkörper z.B. mittels eines Aberrometers verstanden. Da neben der Änderung der Form des Kalibrierkörpers grundsätzlich, je nach verwendetem Material des Kalibrierkörpers, noch

eine Änderung des lokalen Brechungsindex durch laserinduzierte Änderung der Materialparameter auftreten kann, werden bei der Untersuchung vorzugsweise auch solche Änderungen erfaßt.

- 5 Unter Profilometrie wird jedes Verfahren verstanden, das eine Erfassung des Oberflächenprofils des ablatierten Kalibrierkörpers wenigstens in einem Teil der ablatierten Oberfläche erlaubt. Als Profilometer können insbesondere Topographiesysteme verwendet werden.

10 Die Untersuchungseinrichtung kann weiter insbesondere eine Meßdatenverarbeitungseinrichtung umfassen, mittels derer die erfaßten Daten ausgewertet werden können. Die Meßdatenverarbeitungseinrichtung kann dabei je nach Anwendung als von dem Behandlungssystem getrennte, mit einer Meßdatenerfassung zusammengefaßte Einheit des Aberrometers oder Profilometers vorgesehen werden oder auch in das Behandlungssystem integriert sein. Die Meßdatenverarbeitungseinrichtung für ein Aberrometer rekonstruiert
15 beispielsweise aus den erfaßten Wellenfrontmeßdaten die Wellenfront.

Aus den Untersuchungsdaten wird der Ist-Wert des Systemparameters oder eine Abweichung von einem Soll-Wert ermittelt. Hierzu ist die Untersuchungseinrichtung über eine entsprechende Datenverbindung mit einer Auswerteeinrichtung verbunden.

20 Bei Ermittlung wenigstens eines Ist-Wertes eines Systemparameters werden Daten erhalten, die den momentanen Zustand des Systems genau definieren und so eine einfache Korrektur an dem Behandlungssystem ermöglichen. Bei einer Ermittlung der Abweichung genügt es grundsätzlich, daß die Abweichung einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet,
25 vorzugsweise wird die Abweichung jedoch auch quantitativ ermittelt.

Zur Durchführung der Ist-Wertbestimmung oder zur Ermittlung der Abweichungen kann die Auswerteeinrichtung insbesondere eine Datenverarbeitungseinrichtung aufweisen, die zur Durchführung des Verfahrens programmiert ist. Die Auswerteeinrichtung kann dabei eine
30 separate Einheit darstellen oder in die Untersuchungseinrichtung oder in das Behandlungssystem integriert sein.

Ein Vorteil gegenüber den herkömmlichen Verfahren liegt darin, daß es durch die Untersuchung der Kalibrierkörper mittels räumlich hochauflösender dreidimensionaler Verfahren, nämlich der
35 Aberrometrie oder der Profilometrie, erstmals möglich ist, das dreidimensionale Ablationsverhalten nicht nur integral, sondern mit einer hohen lateralen Auflösung zu erfassen. Erst damit können auch kleine und empfindliche Störungen der Werte der Systemparameter

registriert werden, die sonst in einer integralen Messung, beispielsweise der Fluence, untergehen würden.

Die Untersuchung von Kalibrierkörpern, deren abladierte Oberflächen zu beispielsweise höhere
5 Aberrationen und/oder hohe Raumfrequenzen bei einer optischen Abbildung bewirken, mittels
Aberrometrie und/oder Profilometrie ist deutlich empfindlicher gegen Abweichungen von
Spotform, Spotgröße, oder Drift der Ablenkeinrichtung von entsprechenden Soll-Werten als die
Untersuchung der Brechkraft von einfachen abladierten PMMA-Linsen z.B. mittels Lensmetern
oder die Untersuchung von zweidimensionalen Mustern auf Fluencepapier - oder folie. Die
10 Überwachung der Systemparameter ist also genauer.

Die Erfindung kann weiter dazu verwendet werden, mit sehr geringem Aufwand den Zustand
wenigstens vor oder sogar während einer Behandlung zu dokumentieren, so daß ein Arzt eine
korrekte Einstellung später leicht nachweisen kann.

15

Der Kalibrierkörper kann grundsätzlich beliebige Form aufweisen, solange die zu ablatierende
und zu untersuchende Oberfläche des Kalibrierkörpers vor der Ablation hinreichend genau
bekannt ist und vorzugsweise einer vorgegebenen Form entspricht. Bei einer Ausführungsform
des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es bevorzugt, daß zur Ablation ein im zu ablatierenden
20 Bereich plattenförmiger Kalibrierkörper verwendet wird. Solche Kalibrierkörper weisen im nicht
abladierten Zustand keine Aberrationen bei einer Untersuchung auf und erlauben daher eine
einfache Bestimmung der Systemparameter. Darüber hinaus sind sie sehr einfach und
kostengünstig mit einer hinreichend genau definierten Oberfläche herstellbar.

25 Alternativ ist es - insbesondere bei einer Verwendung bei Behandlungen im Bereich der
refraktiven Laserchirurgie des Auges bzw. der Hornhaut - bevorzugt, daß ein Kalibrierkörper
verwendet wird, der wenigstens im zu ablatierenden und zu untersuchenden Bereich eine
kugelförmige Gestalt besitzt. Die Krümmung in diesem Bereich entspricht dabei vorzugsweise
der mittleren Hornhautkrümmung des Auges. Es ergeben sich so sehr leicht auf die Behandlung
30 eines Auges übertragbare Ergebnisse. Insbesondere können auch Informationen über
Parameter des Behandlungssystems in einer Richtung parallel zu der Richtung des
Behandlungslaserstrahls erhalten werden.

Um eine besonders präzise Behandlung zu ermöglichen, ist es bevorzugt, daß ein
35 Kalibrierkörper verwendet wird, der einen wenigstens teilweise zu ablatierenden
Oberflächenbereich mit der Form des zu behandelnden Hornhautabschnitts des Auges
aufweist. Ein solcher Körper kann beispielsweise durch Untersuchung des Auges eines
Patienten mit Aberrometrie oder Profilometrie und entsprechende Vor-Ablation des

Kalibrierkörpers vor dessen Verwendung zur Systemparameterbestimmung erhalten werden. Diese Form des Kalibrierkörpers erlaubt eine besonders genaue und fehlerarme Übertragung der Ablationsergebnisse von dem Kalibrierkörper auf die Hornhaut. Weiter kann so das verwendete Ablationsprogramm überprüft werden, indem die Güte des mit dem zur Behandlung vorgesehenen Ablationsprogramm vorablatierten Kalibrierkörpers untersucht wird.

Das Material des Kalibrierkörpers kann grundsätzlich beliebig gewählt werden, soweit es reproduzierbar ablatierbar ist. Insbesondere bei Verwendung von Aberrometrie ist das Material vorzugsweise wenigstens vor der Ablation optisch homogen im Bereich der zur Untersuchung verwendeten Wellenlänge. Insbesondere kann als sehr kostengünstiges Material Gelatine verwendet werden. Wegen des vorteilhaften Ablationsverhaltens und der einfachen Herstellung ist es jedoch bevorzugt, daß als Kalibrierkörper ein Polymethylmethacrylat-Kalibrierkörper verwendet wird.

Damit die Untersuchungsdaten unverfälscht bleiben, sollte der Behandlungslaserstrahl in der Regel nicht in die Untersuchungseinrichtung eindringen. Es ist daher bevorzugt, daß ein Kalibrierkörper verwendet wird, der für eine Wellenlänge einer bei der Aberrometrie oder Profilometrie zur Messung benutzten optischen Strahlung nicht transmittierend ist. Der Kalibrierkörper läßt dann nur geringe oder keine Behandlungsstrahlung in die Untersuchungseinrichtung eintreten. Vorzugsweise wird Polymethylmethacrylat (PMMA) verwendet, das sich dadurch auszeichnet, daß es bei einer Wellenlänge im Bereich von 193 nm, d.h. der Wellenlänge von Excimer-Lasern, die in typischen Behandlungssystemen verwendet werden, undurchlässig ist.

Alternativ ist es bevorzugt, daß ein Filter zur Separation des Behandlungslaserstrahls und der zur Untersuchung verwendeten optischen Strahlung verwendet wird. Es ist deshalb für die erfindungsgemäße Systemparameterbestimmungsvorrichtung vorteilhaft, einen für optische Strahlung mit der Polarisierung und/oder Wellenlänge des Behandlungslaserstrahls undurchlässigen Filter im Strahlengang der Untersuchungseinrichtung vor einem Photodetektor der Untersuchungseinrichtung zuzuordnen. Der Filter kann dabei wellenlängenspezifisch und/oder - bei Verwendung eines polarisierten Behandlungslaserstrahls - polarisations-spezifisch wirken und ist insbesondere für die zur Untersuchung verwendete optische Strahlung durchlässig.

Der Kalibrierkörper bzw. der Halter für den Kalibrierkörper kann grundsätzlich beliebig angeordnet sein. Es ist jedoch bevorzugt, daß der Kalibrierkörper bei der Untersuchung in der Arbeitsebene des Behandlungssystems oder einer dazu gleichwertigen bzw. konjugierten Ebene angeordnet ist. Unter einer gleichwertigen Ebene wird dabei eine Ebene verstanden, in

der der Behandlungslaserstrahl oder der Teilstrahl im Wesentlichen die gleichen Eigenschaften aufweist wie in der Arbeitsebene. Beispielsweise kann im Strahlengang des Behandlungssystems eine Strahlumlenkung vorgesehen sein, die den Behandlungslaserstrahl oder nur einen Teilstrahl zur gleichwertigen Ebene umlenkt, wobei der Strahl dabei die gleiche optische Weglänge zurücklegt. Es ergeben sich dann die Verhältnisse bei der Behandlung besonders genau wiedergebende Ablationsprofile und daraus ermittelte Werte des Systemparameters.

Für eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Systems ist es dazu bevorzugt, daß der Halter in einen Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems hinein und aus diesem heraus bewegbar ist. Besonders bevorzugt ist der Halter, wenn er im Behandlungsstrahlengang angeordnet ist, in der Arbeitsebene des Behandlungssystems angeordnet. Der Halter kann dabei insbesondere, an einem Träger gehalten, geschwenkt oder verschoben werden. Auf diese Weise kann der Kalibrierkörper sehr einfach und genau in den Behandlungsstrahlengang und insbesondere in die spätere Arbeitsebene des Behandlungssystems gebracht werden. Der Halter kann dabei manuell oder, vorzugsweise, durch einen Antrieb bewegt werden. Besonders bevorzugt ist der Antrieb durch die Steuereinrichtung des Behandlungssystems steuerbar, so daß der Halter automatisch in den Behandlungsstrahlengang hinein und aus diesem heraus verbracht werden kann.

Alternativ ist es zur Anordnung des Kalibrierkörpers im Behandlungsstrahlengang bei dem erfindungsgemäßen Behandlungssystem bevorzugt, daß die Untersuchungseinrichtung mit dem Halter als Einheit an oder auf einem Träger des Behandlungssystems gelagert und in den Behandlungsstrahlengang hinein und aus diesem heraus bewegbar ist. Die Untersuchungseinrichtung mit dem Aberrometer und/oder Profilometer und dem Halter kann dabei insbesondere geschwenkt oder verschoben werden. Auf diese Weise kann der Kalibrierkörper sehr einfach und genau in der Untersuchungseinrichtung bzw. dem Aberrometer und/oder Profilometer gehalten werden, was die Genauigkeit der Untersuchung erhöhen kann. Diese Anordnung stellt auch bei mehrfacher Verwendung eine sehr genaue Ausrichtung von Untersuchungseinrichtung und Halter, und somit auch Kalibrierkörper in dem Halter, zueinander sicher, so daß Ausrichtungs- bzw. Justierfehler sehr einfach vermieden sind. Die Untersuchungseinrichtung mit dem Halter kann dabei manuell oder, vorzugsweise, durch einen Antrieb bewegt werden. Besonders bevorzugt ist der Antrieb durch die Steuereinrichtung des Behandlungssystems steuerbar, so daß die Untersuchungseinrichtung mit dem Halter automatisch in den Behandlungsstrahlengang hinein und aus diesem heraus bewegbar ist.

Grundsätzlich kann das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig von einer Behandlung beispielsweise zur werksseitigen Kalibrierung, zur Kontrolle bei der Wartung oder zur Kalibrierung vor der Behandlung durchgeführt werden. Besonders günstig ist es jedoch, das Verfahren während einer Behandlung des Auges durchzuführen. Dabei kann die Ermittlung des Systemparameters kontinuierlich oder alternierend mit einzelnen Behandlungsteilschritten erfolgen. In diesem Fall liegen abhängig von der Frequenz der Untersuchung, insbesondere der Erfassungsfrequenz des Aberrometers bzw. des Profilometers, in entsprechenden Zeitabständen die Ist-Werte des Systemparameters bzw. die Abweichungen von dem Soll-Wert des Systemparameters vor. Damit sind insbesondere Schwankungen der Systemparameter während der Behandlung bestimmbar, beispielsweise Drift der Ablenkeinrichtung, Fluencefluktuationen, etc..

Zur Erfassung der Halter in den Behandlungsstrahlengang hinein- und wieder herausbewegt werden. Mechanisch einfacher ist es, den Behandlungslaserstrahl alternierend auf das Auge und auf den Kalibrierkörper zu lenken. Bei dem erfindungsgemäßen System ist es dazu bevorzugt, daß eine Ablenkeinrichtung z.B. mit einem zwischen zwei Stellungen bewegbaren Spiegel so angeordnet ist, daß der Behandlungslaserstrahl auf das Auge oder auf den Kalibrierkörper fällt. Auf diese Weise braucht der Kalibrierkörper nicht bewegt zu werden. Weiter kann der Behandlungslaserstrahl ungeschwächt zur Behandlung verwendet werden. Grundsätzlich kann die Bestätigung der Ablenkeinrichtung, z.B. die Bewegung des Spiegels, manuell erfolgen. Zur Verwendung während der Behandlung ist ein automatischer Antrieb. Vorzugsweise ist dann die Ablenkung mit der Abgabe des Behandlungslaserstrahls synchronisiert. Das gleiche Ablationsprogramm kann dann auf der Hornhaut und auf dem Kalibrierkörper im Wesentlichen synchron durchgeführt werden. Besonders einfach fällt die Verwendung eines Spiegels, der Spiegel drehbar gelagert ist, da so eine mechanisch und konstruktiv einfache Ablenkung erfolgt.

Bei einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es bevorzugt, daß der Behandlungslaserstrahl aufgeteilt wird und mit dem einem Teilstrahl der Kalibrierkörper ablatiert und mit dem anderen Teilstrahl das Auge behandelt wird. Bei dem erfindungsgemäßen System ist es zweckmäßig, dazu einen Strahlteiler im Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems anzuordnen, der ein Teilstrahl aus dem Behandlungslaserstrahl zur Ablation des Kalibrierkörpers abteilt und der in dem außerhalb des Behandlungsstrahlengangs angeordneten Halter gehaltenen ist. Auf diese Weise ist eine Prüfung der Systemparameter während der Behandlung möglich. Bei der Ermittlung des Systemparameters sollten dabei die optischen Eigenschaften des Strahlteilers, soweit sie Einfluß auf die Eigenschaften des Teilstrahls haben, berücksichtigt werden. Als Strahlteiler kann ein halbdurchlässiger Spiegel verwendet werden.

Dabei ist es besonders bevorzugt, daß die erwähnte Ablenkeinrichtung und/oder der Strahlteiler hinter einer Fokussieroptik oder der Ablenkeinrichtung des Behandlungssystems angeordnet ist. Auf diese Weise können auch Systemparameter für auf die Fokussieroptik und die Ablenkeinrichtung ermittelt werden. Weiterhin kann bei Verwendung eines Strahlteilers der für die Ablation des Kalibrierkörpers benutzte Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls einfach nach dem gleichen Ablationsprogramm wie der das Auge behandelnde Behandlungslaserstrahl gesteuert werden.

Die Untersuchung der Oberfläche des Kalibrierkörpers kann grundsätzlich mit einer von dem Behandlungssystem unabhängigen, separaten Untersuchungseinrichtung erfolgen. Um die Baugröße zu minimieren kann man das Aberrometer bzw. Profilometer der Untersuchungseinrichtung in das Behandlungssystem integrieren; insbesondere kann das Aberrometer und/oder Profilometer fest mit dem Behandlungssystem verbunden sein. Besonders bevorzugt ist es, daß das Aberrometer und/oder als Profilometer für die Untersuchungseinrichtung in dem Behandlungssystem zur Untersuchung des Auges verwendbar ist, da sich so ein besonders kompaktes Behandlungssystem ergibt, das gleichzeitig kostengünstig aufgebaut ist. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft in Kombination mit einem Kalibrierkörperhalter, der in den Behandlungsstrahlengang hinein und aus diesem heraus bewegbar ist.

Um einen sehr kompakten Aufbau zu erzielen, ist es besonders bevorzugt, daß ein Meßstrahlenbündel, das zur Untersuchung des Kalibrierkörpers verwendet wird, kollinear zu dem Behandlungslaserstrahl oder einem davon abgeteilten Teilstrahl in den Strahlengang des Behandlungslaserstrahls bzw. des Teilstrahls zur Ablation des Kalibrierkörpers eingekoppelt wird. Bei dem erfindungsgemäßen Behandlungssystem verläuft dann ein Meßstrahlengang der Untersuchungseinrichtung wenigstens teilweise kollinear zu einem Strahlengang des Behandlungslaserstrahls.

Erfindungsgemäß kann grundsätzlich ein beliebiges Aberrometrieverfahren bzw. in der Untersuchungseinrichtung ein beliebiges Aberrometer verwendet werden. Um besonders einfach und zuverlässig Aberrationen auch höherer Ordnungen zu ermitteln, ist es jedoch bevorzugt, daß zur Untersuchung des Ablationszustandes des abladierten Kalibrierkörpers Daten einer mittels des abladierten Kalibrierkörpers beeinflussten Wellenfront bzw. eine Veränderung der Wellenfront erfaßt und ausgewertet werden. Bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung ist es dazu bevorzugt, daß die Untersuchungseinrichtung ein auf der Basis von Wellenfrontdaten arbeitendes Aberrometer umfaßt.

Grundsätzlich können hierzu beliebige geeignete Aberrometer verwendet werden. Beispielsweise kann das Aberrometer interferometrisch arbeiten und z.B. einen Twyman-Green-Sensor aufweisen. Vorzugsweise werden jedoch Aberrometer mit geometrisch arbeitenden Sensoren, beispielsweise Tscherning-Aberrometer oder Systeme, die nach dem Skiaskop-Prinzip arbeiten, verwendet. Auch kann das Aberrometer einen Shack-Hartmann-Sensor aufweisen. Solche Aberrometer verfügen neben einem einfachen Aufbau über eine sehr hohe Auflösung und hohe Erfassungsfrequenz.

Grundsätzlich können beliebige Profilometrie-Verfahren bzw. -Vorrichtung verwendet werden. Es ist jedoch bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt, daß für die Profilometrie ein optisch arbeitendes Verfahren verwendet wird bei der Systemparameterbestimmungsvorrichtung bzw. dem Behandlungssystem, die Untersuchungseinrichtung ein optisch arbeitendes Profilometer umfaßt. Solche Profilometrie-Verfahren bzw. Profilometer erlauben eine schnelle berührungslose Ermittlung von Höhenprofilen bzw. Topographie-Daten. Als Profilometer können insbesondere Placido-Ring Topographiegeräte der Ophthalmologie oder andere optische Oberflächen-Profilometer verwendet werden.

Für eine genaue Überwachung ist es vorteilhaft, wenn mit nur einer Messung gleichzeitig Angaben über mehrere der Systemparameter gewonnen werden. Es ist deshalb bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt, daß aus den gleichen Untersuchungsdaten jeweils ein Ist-Wert und/oder eine Abweichung von einem entsprechenden Soll-Wert für wenigstens zwei Systemparameter ermittelt werden. Diese können insbesondere aus der obengenannten Liste der Systemparameter ausgewählt sein. Entsprechend ist es bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung bevorzugt, daß die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, aus den gleichen Untersuchungsdaten für wenigstens zwei Systemparameter jeweils einen Ist-Wert und/oder die Abweichung von einem entsprechenden Soll-Wert zu ermitteln. Die Ermittlung auf der Basis der gleichen Untersuchungsdaten kann dabei im Wesentlichen gleichzeitig erfolgen, so daß kein zusätzlicher zeitlicher Aufwand entsteht. Besonders bevorzugt können die Ist-Werte bzw. die Abweichungen von entsprechenden Soll-Werten für mehr als zwei Systemparameter bei den zuvor und im Folgenden in Bezug auf einen Systemparameter beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen und Weiterbildungen der Erfindung entsprechend ermittelt werden.

Um zeitlich variierende Systemparameter zu erfassen, werden vorzugsweise alle entscheidenden Systemparameter des Behandlungssystems wiederholt zu aufeinanderfolgenden Zeiten bestimmt.

Die Ermittlung des Ist-Wertes des Systemparameters bzw. von Ist-Werten der Systemparameter und/oder insbesondere der Abweichung von dem Soll-Wert bzw. der Abweichungen der Systemparameter von Soll-Werten kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen.

5

Zum einen kann der Ist-Wert des Systemparameters jeweils absolut aus den Untersuchungsdaten ermittelt werden, wozu vorzugsweise theoretische oder empirisch ermittelte Beziehungen verwendet werden können. Dieser Ist-Wert kann dann mit einem vorgegebenen Soll-Wert verglichen werden.

10

Alternativ ist es möglich, daß die Abweichung des Ist-Wertes des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. der Abweichungen der Ist-Werte der Systemparameter von den Soll-Werten auf der Basis eines Vergleichs der Untersuchungsdaten mit entsprechenden Referenzdaten ermittelt wird. Dazu ist es bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung zweckmäßig die Auswerteeinrichtung zur Ermittlung der Abweichung des Ist-Wertes Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. der Abweichungen der Ist-Werte der Systemparameter von den Soll-Werten durch Vergleich der Untersuchungsdaten mit entsprechenden Referenzdaten auszubilden. Ein solcher Vergleich ist meist einfacher durchzuführen, da die absoluten Soll-Werte nicht unbedingt explizit bekannt sein müssen. Auch können für einen Systemparameter ein Ist-Wert absolut und für einen anderen Systemparameter eine Abweichung von einem Soll-Wert ermittelt werden.

25

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Referenzdaten durch entsprechende theoretische Werte oder durch Daten gegeben, die zuvor an einem vorgegebenen Behandlungssystem, bei dem die Systemparameter die Soll-Werte haben, durch Ablation und Vermessung eines Kalibrierkörpers bestimmt werden. Diese Lösung ist mit fest vorgegebenen Ablationsmustern, z.B. mit bestimmten Ablationsdaten für wohldefinierte höhere Aberrationsterme, möglich. Bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung ist es diesbezüglich bevorzugt, daß diese einen Speicher zur Speicherung der Referenzdaten aufweist.

30

Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist wird vorteilhafterweise ein Referenzkörper nach Anwendung eines vorgegebenen Ablationsmusters mit Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht, und die erhaltenen Untersuchungsdaten werden als Referenzdaten verwendet. Dabei ist es zweckmäßig, daß der Referenzkörper durch Ablation eines dem Kalibrierkörper entsprechenden Körpers mit einem Behandlungssystem erhalten worden ist, bei dem die Systemparameter die vorgegebenen Soll-Werte aufweisen. Der Referenzkörper kann dabei direkt durch Ablation erhalten worden sein oder durch Abformung

35

eines zuvor abladierten Körpers. Auf diese Weise können die Referenzdaten einfach jeweils neu gebildet werden. Insbesondere können für verschiedene Kalibrierkörper entsprechende Referenzkörper verwendet werden. Weiter werden so Eigenheiten des Aberrometers und/oder Profilometers einfach berücksichtigt.

5

Bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung und dem erfindungsgemäßen Behandlungssystem kann mit Gewinn ein Referenzkörper verwendet werden, der ein vorgegebenes Referenzablationsmuster aufweist. Der Referenzkörper ist dabei in einen Meßstrahlengang der Untersuchungseinrichtung bewegbar. Dieser Referenzkörper kann
10 jederzeit und sehr einfach manuell oder, vorzugsweise, automatisch in die Untersuchungseinrichtung eingebracht und gemessen bzw. untersucht werden. Die so gewonnenen Untersuchungsdaten des Referenzkörpers stellen dann die Referenzdaten für den Vergleich mit den Daten des vor oder während der Behandlung abladierten Körpers dar.

15 In Anwendungen, bei denen während einer Behandlung laufend die Ist-Werte und/oder Abweichungen von Soll-Werten der Systemparameter ermittelt werden, kann darauf verzichtet werden, zur Erzielung einer hohen Genauigkeit für jede neue Bestimmung einen neuen Kalibrierkörper einzusetzen, wenn das Verfahren zyklisch durchgeführt wird, und aus Untersuchungsdaten eines vorhergehenden Zyklus Referenzdaten für den aktuellen Zyklus
20 ermittelt werden. Bei der erfindungsgemäßen Systemparameterbestimmungsvorrichtung ist es dazu bevorzugt, daß die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, bei zyklischer Erfassung von Untersuchungsdaten aus Untersuchungsdaten eines vorhergehenden Zyklus Referenzdaten für den aktuellen Zyklus zu ermitteln. Zur Ermittlung können neben dem Ablationsprogramm zwischen zwei Zyklen entweder bei entsprechender Korrektur der Systemparameter die Soll-
25 Werte der Systemparameter oder sonst die Ist-Werte verwendet werden.

Für den Vergleich der Untersuchungsdaten der aktuell erzeugten und gemessenen Kalibrierkörper entweder mit den Referenzdaten oder den Untersuchungsdaten des gemessenen Referenzkörpers, können unterschiedliche Wege beschritten werden. Je nach der
30 Art der Datensätze, z.B. modal oder zonal rekonstruierte Wellenfrontdarstellungen oder Topographie-Höhendaten, eignen sich z.B. Differenzmethoden, Differentialmethoden, Momentenmethoden oder andere allgemein bekannte mathematische Verfahren und deren Kombinationen, um die gemessenen und bei der Untersuchung ermittelten Daten mit den Referenzdaten zu vergleichen und aus den Abweichungen Abweichungen der
35 Systemparameter für das Behandlungssystem festzustellen und ggf. quantitativ zu ermitteln. Die ermittelte Abweichung der Systemparameter von Soll-Werten kann dann ausgegeben werden.

Das Verfahren bzw. die Vorrichtung kann zur Kalibrierung eines Systems zur Behandlung eines Auges weitergeleitet werden. Dazu ist es bevorzugt, daß in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. den ermittelten Ist-Werten der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens ein Korrekturparameter für das Behandlungssystem ermittelt wird, der dazu geeignet ist, Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren. Die Systemparameterbestimmungsvorrichtung verfügt dazu über eine Korrekturwertermittlungseinrichtung die, in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens einen Korrekturparameter für das Behandlungssystem ermittelt, der dazu geeignet ist, Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren. Bei dem Behandlungssystem ist es bevorzugt, daß die Systemparameterbestimmungsvorrichtung oder die Steuereinrichtung eine Korrekturwertermittlungseinrichtung aufweist, die in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens einen Korrekturparameter für das Behandlungssystem ermittelt, der dazu geeignet ist, Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren. Bei den Korrekturparametern kann es sich insbesondere um Stellgrößen für Stelleinrichtungen des Behandlungssystems handeln, mittels derer entsprechende Systemparameter änderbar sind. Der Soll-Zustand kann beispielsweise durch entsprechende Soll-Werte der Systemparameter, die Soll-Funktion durch die Bildung eines vorgegebenen Ablationsmusters betreffen. Beispielsweise kann ein definierter Kalibrierungszustand des Behandlungssystems im Werk eingestellt werden. Es kann aber auch der werksseitige Kalibrierungszustand bei oder nach der Benutzung des Behandlungssystems wieder hergestellt werden.

Es ist dann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren weiter bevorzugt, daß in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. den ermittelten Werten der Systemparameter oder dessen Abweichung von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens eine entsprechende Einstellung einer Stelleinrichtung des Behandlungssystems verändert wird, um Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren. Bei der Stelleinrichtung kann es sich insbesondere elektrische und/oder optische und/oder mechanische und/oder elektromechanische und/oder optomechanische Stelleinrichtung des Behandlungssystems handeln. Es kann so eine einfache Kalibrierung erfolgen. Insgesamt ist so auch eine Regelung möglich

Eine Abweichung des Systemparameters von einem Soll-Wert kann grundsätzlich manuell von einer Bedienperson durch eine entsprechende Korrektur an dem Behandlungssystem beseitigt werden.

5

Für eine automatische Regelung ist es bevorzugt, auf der Basis des Ist-Werts des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten die Einstellung des Behandlungssystems automatisch zur Verringerung der Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert bzw. der Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Werten zu ändern. Dazu kann die Auswerteeinrichtung mit der Steuereinrichtung verbunden und Auswerte- und/oder die Steuereinrichtung derart ausgebildet sein, daß auf der Basis des Ist-Wertes des Systemparameters bzw. der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert die Einstellung des Behandlungssystems automatisch zur Verringerung der Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert änderbar ist. Es wird so eine Nachregelung des Systemparameters durch Stelleinrichtungen oder Einstellungen des Behandlungssystems erreicht. Insbesondere bei einer Prüfung und Nachregelung während der Behandlung kann so eine hohe Stabilität der Systemparameter gegenüber Schwankungen und/oder Drift erreicht werden, was die Präzision der eigentlichen Behandlung wesentlich erhöhen kann.

20

Das Ziel der Nachregelung besteht darin, eine vorgegebene Ablation auf der Hornhaut des Auges zu erreichen. Es ist daher bei dem erfindungsgemäßen Verfahren alternativ oder ergänzend bevorzugt, daß zur Erzielung eines vorgegebenen Ablationsprofils ein Programm oder wenigstens ein Parameterwert für das Programm zur zeitlichen Änderung der Lage und/oder Intensität des Behandlungslaserstrahls entsprechend dem Ist-Wert und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert verändert wird. Es wird also nicht unbedingt das Behandlungssystem in Bezug beispielsweise die Funktion des Behandlungslasers und/oder der Ablenkeinrichtung abgestimmt, sondern das Ablationsprogramm wird geeignet so eingestellt, daß mit den aktuell vorhandenen Systemparametern das gewünschte Ablationsprofil auf der Hornhaut erhalten wird. Bei dem erfindungsgemäßen Behandlungssystem ist es dazu bevorzugt, daß die Auswerteeinrichtung mit der Steuereinrichtung verbunden und die Steuereinrichtung derart ausgebildet ist, daß auf der Basis des Ist-Wertes und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert ein Programm oder wenigstens ein Parameterwert für das Programm zur zeitlichen Änderung der Lage und/oder Intensität des Behandlungslaserstrahls zur Erzielung eines vorgegebenen Ablationsprofils änderbar ist. Insbesondere kann die Auswerteeinrichtung hierzu entsprechende Korrekturwerte an die Steuereinrichtung abgeben. Diese Änderung kann insbesondere dadurch erfolgen, daß Werte von Parametern eines Steuerprogramms in Abhängigkeit von dem Ist-Wert

30

35

bzw. der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert und dem gewünschten Ablationsprofil verändert werden. Basis hierfür können theoretisch oder empirisch ermittelte Zusammenhänge zwischen dem Ablationsprofil und den Systemparametern sein. Beispielsweise ist kann eine an und für sich bekannte Abhängigkeit der Ablationstiefe von der
5 Behandlungslaserfluence oder die Form und Tiefe der Übergangszone bzw. die Formabweichungen bestimmter, im Kalibrierkörper bzw. dem Auge erzeugter höherer Aberrationen als Funktion der Spotform hierfür ausgenutzt werden.

Die beiden zuletzt genannten Ausführungsformen der Erfindung mit einer Nachstellung von
10 Systemparametern und Änderung des Ablationsprogramms können auch kombiniert werden. Das hat den Vorteil, daß man sich bei den einzustellenden Systemparametern auf die relevantesten Systemparameter und/oder auf diejenigen Systemparameter beschränken kann, deren Einstellung technisch mit geringem Aufwand möglich ist, und Abweichungen der Ist-Werte anderer Systemparameter von entsprechenden Soll-Werten durch eine Anpassung des
15 Ablationsprogramms Rechnung trägt.

Diese in das Behandlungssystem integrierbare Kalibriermethode erhöht die Präzision des Behandlungssystems und entlastet den Operateur von aufwendigen manuellen Kalibrierarbeiten bei Ausschluß von subjektive Bewertungsfehlern, wie sie beispielsweise bei
20 der Begutachtung von Fluence-Papieren oder -Folien auftreten können.

Bevorzugt kann direkt die während der Behandlung bestimmte Ist-Ablation des Kalibrierkörpers verwendet werden, um Rückschlüsse auf den erreichten Ablationszustand auf der Cornea des Patienten zu erhalten. Die Ablation kann damit dynamisch gesteuert werden bis zum Erreichen
25 der optimalen Zielablation auf dem Kalibrierkörper, die bei weitgehend bekannten Verhältnissen zwischen der Körper- und der Hornhautablation auch zu einer optimalen Behandlung des Patienten führt. Als Soll-Ablation für den Kalibrierkörper bei dieser Vorgehensweise eignet sich die vor der Behandlung festgelegte Soll-Ablation, die auf die Verhältnisse des Körpers umgerechnet wird.

30 Die erläuterten Gesichtspunkte der vorliegenden Erfindung bezogen sich auf die mittels Aberrometrie mögliche Charakterisierung, Kalibrierung/Einstellung und Steuerung von Lasersystemen in der refraktiven Laserchirurgie. Die vorliegende Erfindung ist jedoch auch für beliebige andere therapeutische Verfahren der (Laser-) Chirurgie verwendbar, bei denen
35 biologisches Material entfernt werden soll und für die äquivalent Verfahren des Materialabtrags benutzt werden.

Außerdem ist das Verfahren, wie oben erläutert, nicht auf eine Messung und Verwendung von Aberrationsdaten begrenzt, sondern kann auch so abgewandelt werden, daß Topographiedaten (bzw. Profilometriedaten) benutzt werden. Dazu kann in der Untersuchungseinrichtung 8 statt eines Aberrometers ein Profilometer verwendet werden.

5

Die Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand der Zeichnungen noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Behandlungssystems und einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

15

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Aberrometers der Systemparameterbestimmungsvorrichtung in Fig. 1,

Fig. 3 graphische Darstellungen eines typischen theoretisch ermittelten und eines gemessenen Querschnitts für einen mittels Excimer-Laserablation eines PMMA-Kalibrierkörpers erzeugten Zernike-Koma-Terms,

Fig. 4 gemessene Aberrationen in Form von Profilhöhenwerten in einer Grauwertdarstellung bei einer Dezentrierung einer Ablenkeinrichtung des Behandlungssystems in Fig. 1 gegenüber einer Augenbewegungsverfolgungseinrichtung des Behandlungssystems in Fig. 1,

Fig. 5 gemessene Aberrationen in Form von Profilhöhenwerten in einer Grauwertdarstellung bei einer Dezentrierung einer Ablenkeinrichtung des Behandlungssystems in Fig. 1 gegenüber einer Augenbewegungsverfolgungseinrichtung des Behandlungssystems in Fig. 1 sowie entsprechende Werte von Zernike-Koeffizienten,

Fig. 6 Ergebnisse von Simulationen für Aberrationen an abladierten Kalibrierkörpern bei Verdrehung der Achsen einer Ablenkeinrichtung des Behandlungssystems in Fig. 1 gegenüber ihren Soll-Lagen mit Darstellungen von Profilhöhen als Grauwerten, entsprechenden Zernike-Koeffizienten und jeweiligen Drehwinkeln,

Fig. 7 Ergebnisse von Messungen des Einflusses von Fluence-Änderungen auf Aberration mit Darstellungen von Profilhöhen als Grauwerten, und entsprechenden Zernike-Koeffizienten,

35

Fig. 8 eine schematische Darstellung eines Behandlungssystems und einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer zweiten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

5

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines Behandlungssystems mit einer integrierten Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer dritten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

10 Fig. 10 eine schematische teilweise Darstellung eines Behandlungssystems mit einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung, die ein bewegbares Aberrometer aufweist, nach einer fünften bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

15 Fig. 11 eine schematische teilweise Darstellung eines Behandlungssystems mit einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung, die einen bewegbaren Kalibrierkörperhalter aufweist, nach einer sechsten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

20 Fig. 12 eine schematische teilweise Darstellung eines Behandlungssystems mit einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer elften bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 13 eine schematische Darstellung eines Behandlungssystems mit einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer zwölften bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

25

Fig. 14 eine schematische Darstellung eines Behandlungssystems mit einer Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer dreizehnten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, und

30 Fig. 15 eine schematische teilweise Darstellung des Behandlungssystems mit der Systemparameterbestimmungsvorrichtung in Fig. 14.

In Fig. 1 umfaßt ein Behandlungssystem 1 zur refraktiven Laserchirurgie des Auges; mit einem Excimer-Laser 2, der steuerbar ein Behandlungslaserstrahl 3 abgibt, einer einstellbaren Fokussieroptik 4 zur Fokussierung des von dem Excimer-Laser 2 abgegebenen Behandlungslaserstrahls 3, einer Ablenkeinrichtung 5, die den Behandlungslaserstrahl 3 entsprechend vorgegebener Ablenksignale ablenkt einer (nicht gezeigten) Einrichtung zur Verfolgung einer Augenbewegung und einer Steuereinrichtung 6, die mit dem Excimer-Laser 2,

35

- der Fokussieroptik 4, der Einrichtung zur Verfolgung der Augenbewegung und der Ablenkeinrichtung 5 über entsprechende Signalleitungen verbunden und zur Abgabe entsprechender Steuersignale an (nicht gezeigte) Stalleinrichtungen in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Ablationsprogramm und Bewegungsdaten der Augenbewegungsverfolgungseinrichtung ausgebildet ist. Behandlungssysteme dieser Art sind grundsätzlich bekannt, so daß das Behandlungssystem im Folgenden nicht näher beschrieben wird. Ein Beispiel für ein solches Behandlungssystem ist das MEL 70 Excimer-Lasersystem der Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Deutschland.
- 10 Weiter ist eine Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 zur Bestimmung von Ist-Werten von Systemparametern des Behandlungssystems 1 oder Abweichungen dieser Parameter von Soll-Werten, zur Vereinfachung auch als Systemparameterbestimmungsvorrichtung bezeichnet, vorgesehen, die eine Untersuchungseinrichtung 8 und eine Auswerteeinrichtung 9 umfaßt.
- 15 Ein Halter 10 für einen in einer in den Figuren nicht gezeigten Fassung gefaßten Kalibrierkörper 11 ist im Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems 1 angeordnet. Der Halter 10 kann dem Behandlungssystem 1 zugeordnet angesehen werden.
- 20 Der Excimer-Laser 2 kann es als ArF-Excimer-Laser mit einer Wellenlänge von 193 nm ausgebildet werden, der den Behandlungslaserstrahl 3, beispielsweise in Form von Pulsen vorgegebener Dauer und Intensität, in Abhängigkeit von entsprechenden Steuersignalen der Steuereinrichtung 6 abgibt.
- 25 Die Fokussieroptik 4 besitzt zur Fokussierung des Behandlungslaserstrahls 3 in eine Arbeitsebene eine verstellbare Brennweite und/oder Lage. Obwohl sie in den Figuren schematisch nur durch eine Linse dargestellt ist, umfaßt sie tatsächlich weitere Linsen und gegebenenfalls auch strahlbündelbegrenzenden Einrichtungen wie beispielsweise Blenden. Zur Einstellung der Fokussieroptik 4 sind über entsprechende Signale ansteuerbare (nicht dargestellte) Stellantriebe vorgesehen.
- 30 Die Ablenkeinrichtung 5 weist zwei durch entsprechende Stellantriebe auslenkbare strahlum- bzw. -ablenkende Elemente, beispielsweise Spiegel, auf, die den fokussierten Behandlungslaserstrahl 3 in zwei Richtungen ablenken.
- 35 Die Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 bzw. die Untersuchungseinrichtung 8 verfügt über ein Aberrometer 12, das in Fig. 2 genauer schematisch gezeigt ist, und neben den optischen Einrichtungen auch eine Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 besitzt. Das Aberrometer 12 ist zur Ermittlung von Aberration über eine Untersuchung von Wellenfronten

mittels eines Shack-Hartmann-Sensors 20 ausgebildet. Eine Meßlichtquelle 14, im Beispiel eine Superlumineszenddiode, erzeugt ein Meßstrahlenbündel 15, das über eine Beleuchtungsoptik 16 in ein im wesentlichen paralleles Meßstrahlenbündel 15 mit einer im wesentlichen ebenen Wellenfront umformt, und, im Beispiel über eine nicht grundsätzlich notwendige Strahlumlenkung 17, auf einen zu untersuchenden, abladierten Kalibrierkörper 11 gelenkt wird, der in einem Halter 18 des Aberrometers sitzt.

Der Halter 18 ist dabei wie der Halter 10 zur Aufnahme eines gefaßten Kalibrierkörpers 11 ausgebildet.

Das Meßstrahlenbündel 15 mit seiner im wesentlichen ebenen Wellenfront durchläuft den Kalibrierkörper 11 im Halter 10, wird dadurch verformt und dann über eine Sensoroptik 19 auf den Hartmann-Shack-Sensor abgebildet. Bei dem Durchlaufen des parallelen Meßstrahlenbündels 15 durch den bearbeiteten, transparenten Kalibrierkörper 11 entstehen Aberrationen, die mit dem in einer Ebene des Kalibrierkörpers 11 orthogonal zu der mittleren Richtung des Meßstrahlenbündels 15 lokal variierenden optischen Wegunterschied, also der Oberflächentopographie des Kalibrierkörpers 11 physikalisch eindeutig verknüpft sind.

Der Hartmann-Shack-Sensor 20 ist im Ausführungsbeispiel durch ein Mikrolinsenfeld 21 und eine CCD-Kamera 22 gebildet, die das von dem Mikrolinsenfeld 21 auf die Photodetektorfläche der CCD-Kamera 22 abgebildete Meßstrahlenbündel 15 erfaßt und in ein entsprechendes Intensitätsbild in Form eines Feldes von Intensitätswerten umsetzt.

Die Sensoroptik 19 ist dabei so ausgebildet und angeordnet, daß das Photodetektorfeld der CCD-Kamera 22 zu einer abladierten Oberfläche des Kalibrierkörpers 11 konjugiert liegt. Im Beispiel ist die Sensoroptik 19 als abbildendes Teleskop realisiert.

Das von der CCD-Kamera 22 erfaßte Intensitätsbild wird dann über eine entsprechende Datenverbindung zur Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 übermittelt, die rechnergestützte die Intensitätsbilder nach hinlänglich bekannten Methoden analysiert und die Aberrationen als Untersuchungsdaten bestimmt. Die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 verfügt dazu über eine entsprechende Eingangsschnittstelle, einen Mikroprozessor mit einem Speicher, in dem unter anderem ein entsprechendes Meßdatenverarbeitungsprogramm gespeichert ist, und eine Ausgabeschnittstelle 23, über die die Untersuchungsdaten ausgegeben werden.

Die Auswerteeinrichtung 9 ist mit der Ausgabeschnittstelle 23 des Aberrometers 12 bzw. der Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 verbunden, um aus den Untersuchungsdaten Ist-Werte von Systemparametern und/oder Abweichungen der Systemparameterwerte von Soll-Werten zu

ermitteln und diese über eine Schnittstelle 24 auszugeben. Insbesondere weist sie im vorliegenden Ausführungsbeispiel einen (in Fig. 1 nicht gezeigten) Speicher auf, in dem Referenzdaten zum Vergleich mit ermittelten Untersuchungsdaten gespeichert sind.

- 5 Die Auswerteeinrichtung 9 kann grundsätzlich mit der Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 in dem Sinne integriert sein, daß die entsprechenden Funktionen durch Softwaremodule bereitgestellt werden, die auf dem gleichen Mikroprozessor ablaufen, der mit einem Speicher und geeigneten Schnittstellen verbunden ist. Im hier realisierten Beispiel sind jedoch getrennte Einrichtungen vorgesehen, so daß die Auswerteeinrichtung 9 ebenfalls über Ein- und
10 Ausgabeschnittstellen, einen Speicher und einen mit den Schnittstellen und dem Speicher zusammenarbeitenden Mikroprozessor verfügt, der zur Durchführung des entsprechenden Schritts des Verfahrens geeignet programmiert ist.

- Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein transparenter PMMA-Kalibrierkörper 11 im Halter 10
15 mit dem Behandlungslaserstrahl 3 nach einem vorgegebenen, in der Steuereinrichtung 6 gespeicherten Ablationsprogramm abladiert, indem der Behandlungs-Laserstrahl 3 nach einem Zeitprogramm gepulst über entsprechende Oberflächenbereiche des Kalibrierkörpers 11 geführt wird. Alternativ kann auch ein Kalibrierkörper 11 verwendet werden, dessen Brechzahl durch
20 Laserbestrahlung lokal verändert werden kann, z.B. ein Kalibrierkörper aus UV-modifizierbarem Material. Der Kalibrierkörper ist in einer einfachen Realisierung eine planparallele Platte; er kann aber auch sphärisch vorgeformt sein.

- Das Ablationsprogramm ist dabei so gewählt, daß der abladierte Kalibrierkörper 11 geeignete
25 höhere Aberrationen bewirkt, die durch hohe Raumfrequenzen und gegebenenfalls fehlende Rotationssymmetrie charakterisiert sind.

- Der abladierte Kalibrierkörper 11 wird dann manuell dem Halter 10 entnommen und in den Halter 18 des Aberrometers 12 eingesetzt. Danach wird eine Wellenfrontanalyse der
30 abladierten Oberfläche des Kalibrierkörpers 11 durchgeführt. Dabei werden in der Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 als Untersuchungsdaten entsprechende Aberrationen aus den Intensitätsbildern des Shack-Hartmann-Sensors 20 ermittelt.

- Die Untersuchungsdaten werden dann an die Auswerteeinrichtung 9 übermittelt, wo aus den
35 Untersuchungsdaten Ist-Werte von Systemparametern und/oder Abweichungen der Systemparameterwerte von Soll-Werten ermittelt und über die Schnittstelle 24 ausgegeben werden. Als Parameterkombination können Parameter der Augenbewegungsverfolgungseinrichtung oder die Spotgröße, insbesondere der

Spotdurchmesser, herangezogen werden. Auch kann die Ablation des Prüfkörpers mit einem ausgekoppelten Anteil des für die Behandlung verwendeten Strahls online erfolgen.

- Die Bestimmung der Systemparameter erfolgt aus einem Vergleich zwischen den gemessenen
- 5 Untersuchungsdaten, d.h. den Ist-Aberrationen, des abladierten Kalibrierkörpers 11 und Referenzdaten für die Soll-Aberrationen bei richtiger Kalibrierung, die in Verbindung mit dem Ablationsprogramm und der Form des nicht abladierten Kalibrierkörpers 11 ermittelt wurden, und zur Durchführung des Vergleichs in der Auswerteeinrichtung 9 gespeichert sind.
- 10 Zwischen den verschiedenen möglichen Abweichungen zwischen den Soll- und Ist-Untersuchungsdaten bzw. -Aberrationen und den Systemparametern wie z.B. Fluence, Spotform, Offset der Ablenkeinrichtung 5 etc. bestehen eindeutige Zusammenhänge. Diese Zusammenhänge können theoretisch oder aber auch empirisch ermittelt werden.
- 15 Aus den so gewonnenen Ergebnissen für die Ist-Werte der Systemparameter kann nun direkt auf den Kalibrierungszustand des Behandlungssystems 1 geschlossen werden. Weichen die aus den Aberrationen des Kalibrierkörpers 11 bestimmten Ist-Werte der Systemparameter nicht oder nur gering, d.h. um einen Differenzbetrag kleiner als ein jeweils vorgegebener Schwellwert, von den Soll-Werten der werksseitigen Kalibrierung ab, ist das System in einem
- 20 sicheren Betriebszustand und Ablationen können zielgenau durchgeführt werden.

Andernfalls kann aus den bestimmten Abweichungen der Ist-Werte der Systemparameter von den Soll-Werten der Systemparametern abgeleitet werden, daß das Behandlungssystem 1 nicht korrekt kalibriert ist.

25

- Es ist nun möglich, aus der Kenntnis der einzelnen Ist-Werte der Systemparameter auch Werte für Korrekturparameter abzuleiten, die in vorgegebene Justier- oder Stellvorschriften, z.B. zur Nachregelung der Ablenkeinrichtung 5 oder der Fokussieroptik 4, eingehen, mit denen die Abweichungen vom eigentlichen gewünschten Kalibrierungszustand behoben werden. Die
- 30 Zusammenhänge zwischen den Werten der Korrekturparameter und den Abweichungen der Systemparameter von ihren Soll-Werten können, je nach Art des Systemparameters, deduktiv mittels theoretisch-physikalischer Überlegungen oder auch empirisch bestimmt werden. Die Abweichungen eines Ist-Wertes eines gegebenen Systemparameters von dem Soll-Wert wird durch Verändern eines damit zusammenhängenden, definierten Satzes von
- 35 Korrekturparametern für Justiereinrichtungen oder Einstellungen von Regelparametern etc. behoben.

Die Rückführung der Ist-Werte bestimmter Systemparameter auf die Soll-Werte erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel durch manuelle Einstellungen der verschiedenen Komponenten von Technikern. Diese Methode eignet sich z.B. für die werkseitige Kalibrierung des Systems im Werk. Außerdem können diese Verfahren auch von Servicetechnikern zur Nachkalibrierung eingesetzt werden.

Bei dem zu prüfenden Behandlungssystem 1 kann es sich beispielsweise um das MEL 80 Excimer-Lasersystem der Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Deutschland handeln. Dieses wird dann dazu benutzt, um auf gefaßten PMMA-Kalibrierkörpern, die in dem Ablationstrahls des Behandlungssystems in definierter Weise positioniert werden, ein bestimmtes Ablationsprofil zu erzeugen. Der abladierte Kalibrierkörper wird dann in eine Testaugeneinheit eingesetzt, die in definierter Weise an ein Aberrometer, z.B. ein WASCA Wavefront Analyzer der Carl Zeiss Meditec AG, Jena; Deutschland, montierbar ist.

Die Testaugeneinheit weist dabei den Halter 18 für den Kalibrierkörper 1 auf, der so angeordnet ist, daß der Kalibrierkörper nach Montage der Testaugeneinheit relativ zum Aberrometer 12 in einer Lage gehalten ist, in der sonst ein zu untersuchendes Auge positioniert ist. Aus der Messung des abladierten, transparenten Kalibrierkörpers erhöht man die durch die Ablation verursachten Aberrationen.

20

Fig. 3 zeigt graphische Darstellungen eines typischen theoretisch ermittelten und eines gemessenen Querschnitts durch das Zentrum des Prüfkörpers für einen mittels Excimer-Laserablation in einem PMMA-Kalibrierkörper erzeugten Zernike-Koma-Term $Z(3,1)$. Die verrauschte Kurve gibt die Messung der Oberfläche mittels optischer Profilometrie und die glatte Kurve den Schnitt durch die Darstellung des theoretisch vorgegebenen Zernike-Polynoms $Z(3,1)$ (Notation nach Malacara, „Optical Shop Testing“, 2. Aufl., nach Wiley, 1992).

Im folgenden wird an drei Beispielen demonstriert, auf welcher Basis Systemparameter aus Aberrationen ableitbar sind. Alle genannten Aberrationen sind dabei in einer Moden-Entwicklung nach Zernike-Polynomen durch Zernike-Koeffizienten dargestellt, die als Funktionen der Systemparameter aufgefaßt werden. Die angegebenen Werte für die Zernike-Koeffizienten entsprechen dabei optischen Weglängendifferenzen gemäß Malacara-Notation.

Als erstes Beispiel ist die Dezentrierung zwischen einer Augenbewegungsverfolgungseinrichtung ("eye tracking"- System) und einer Nulllage der Ablenkeinrichtung 5 für die Behandlungslaserstrahlablenkung gewählt.

Fig. 4 zeigt die mit dem oben genannten Aberrometer gemessenen Daten der PMMA-Kalibrierkörper für zwei verschiedene Zentrierungen. Im linken Bild war die Nulllage der Ablenkeinrichtung des Behandlungssystems bei der Ablation nicht in Übereinstimmung mit der Augenbewegungsverfolgungseinrichtung, was ein Vergleich mit dem korrekt justierten System (rechtes Bild) unmittelbar zeigt.

Die Grundlage des Vergleichs ist in der Bildsequenz in Fig. 5 anhand der Aberrationen dritter und vierter Ordnung für Kalibrierkörper veranschaulicht, die mit verschiedenen Dezentrierungen abladiert wurden.

10

Für die mit dem oben genannten Behandlungssystem zu erzeugenden Soll-Ablationen auf dem Kalibrierkörper wurde die sphärische Aberration erster Ordnung, d.h. mit dem Zernike-Koeffizienten $Z(40)$, gewählt.

15 Von oben nach unten sind in Fig. 5 verschiedene Dezentrierungen gezeigt. Für einen festen Analysedurchmesser sind die für die Aberrationen der abladierten Kalibrierkörper Zernike-Amplituden einer Entwicklung nach Zernike-Polynomen bestimmt worden.

Fig. 5 zeigt in der Mitte Grau-Höhendarstellungen der mittels Wellenfrontanalyse bestimmte Oberflächentopographie. Rechts daneben sind die aus der Wellenfrontanalyse bzw. der Oberflächentopographie ermittelten Aberrationen bzw. Zernike-Koeffizienten als Werte für die optische Weglängendifferenz nach Malarca Notation in Einheiten von Nanometern angegeben.

Der abladierte Kalibrierkörper für die zentrierte Position, in Fig. 5 die oberste Graustufen-Höhendarstellung der gemessenen Wellenfront (Bild 1), zeigt im wesentlichen einen reinen $Z(40)$ Aberrationsterm.

Die anderen Bilder 2-5 in Fig. 5 zeigen Dezentrierungen, die immer zu einer wohldefinierten Superposition der sphärischen Aberration $Z(40)$ mit im Wesentlichen jeweils einem dominierenden Koma-Term, im Beispiel $Z(3,-1)$ bzw. $Z(3,1)$ führt. Dabei ist darauf hinzuweisen, daß für die gezeigten Fälle Dezentrierungen im Bereich deutlich unterhalb von $500\text{ }\mu\text{m}$ gewählt wurden. Selbst so geringe Dezentrierungen ergeben sich eindeutig unterscheidbare Zerlegungen nach Zernike-Koeffizienten. Das Verfahren ist also sehr empfindlich. Alle vier Dezentrierungsfälle können somit eindeutig unterschieden werden. Insbesondere erlaubt es die Untersuchung der Kalibrierkörper und die Darstellung der Untersuchungsergebnisse in Form von Zernike-Koeffizienten einer Entwicklung nach Zernike-Polynomen, eindeutig von den Aberrationsanteilen auf die Dezentrierung zu schließen.

35

Die Kenntnis bzw. Beseitigung solcher Dejustierungen ist von besonderer Bedeutung bei patientenspezifischen Korrekturen bzw. der "Customized Ablation". Denn bei Korrekturen von Sehfehlern höherer Ordnung und von lokalisierten Hornhautfehlern muß die Ablation nicht nur mit genauer Zentrierung, sondern auch mit der korrekten Achse, d.h. in der korrekten Richtung orthogonal zu der optische Achse der Hornhaut, erfolgen. Dazu werden beispielsweise sogenannte "Limus-Tracker" verwendet, die Blutgefäße und andere Strukturen auf der Iris erkennen und die Ablenkeinrichtung entsprechend steuern.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel für die Empfindlichkeit höherer Aberrationen gegen Drehung. Dargestellt sind die Ergebnisse von Simulationen für die Aberrationen an abladierten Kalibrierkörpern bei Verdrehung der Achsen gegenüber ihren Soll-Lagen. In der oberen Zeile sind Grauwert-Höhendarstellungen der mittels Wellenfrontanalyse bestimmte Oberflächentopographie abgebildet, darunter aus der Wellenfrontanalyse bzw. der Oberflächentopographie ermittelte Aberrationen bzw. Zernike-Koeffizienten als Werte für die optische Weglängendifferenz nach Malacara-Notation und in der letzten Zeile die jeweiligen Drehwinkel bei der Messung oder Ablation.

Geringe Dejustierungen, zum Beispiel eine Drift, zwischen der Abstimmung zwischen der Augenbewegungsverfolgungseinrichtung z.B. eines (Limus-Tracker) und der Ablenkeinrichtung führen zu Drehungen der Ablationsmuster in den abladierten Kalibrierkörpern, die sofort an der Entwicklung der Zerlegung der Zernike-Koeffizienten erkannt werden können. Die Koeffizienten $Z(4,4)$ und $Z(4,-4)$ hängen stark vom Drehwinkel ab, wobei jeweils wenigstens einer der Koeffizienten einen Betrag aufweist, der den Betrag der anderen Koeffizienten bei weitem übersteigt. Diese Empfindlichkeit kann durch Erhöhung der benutzten Aberrationen noch deutlich gegenüber dem gezeigten Beispiel erhöht werden.

Natürlich können in beiden Beispielen jeweils unterschiedliche Zernike-Koeffizienten gewählt werden können, die relativ sensitiv von einem speziellen Systemparameter, aber praktisch nicht von einem anderen Systemparameter abhängen. So hängen in dem ersten Beispiel (Fig. 5) die Koeffizienten $Z(3,-1)$, $Z(3,1)$ und $Z(4,0)$ von dem Wert der Dezentrierung ab, während bei dem zweiten Beispiel (Fig. 6) die Zernike-Koeffizienten $Z(4,4)$ und $Z(4,-4)$, aber nicht $Z(4,0)$, von dem Wert der Drehung der Achse abhängen. Auf diese Weise können diese Systemparameter gleichzeitig, d.h. insbesondere basierend auf dem gleichen Satz von Untersuchungsdaten, unabhängig voneinander mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Ein weiteres Beispiel zeigt die Empfindlichkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bestimmung der Variation der Fluence (vgl. Fig. 7). Hierbei wurde ein Ablationsprogramm verwendet, das bei korrekten Werten der Systemparameter zu einem nicht völlig regulären Soll-

Ablationsmuster führt, d.h. es wird kein völlig reguläres Muster, beispielsweise eines das zu einem reinen, auf das mathematische Zentrum der Korrekturdaten zentrierten Aberrationsterm führt, sondern ein im Bezug zur ursprünglichen Behandlungsachse anderes Muster auf einem PMMA-Körper abladiert.

5

In Fig. 7 sind Ergebnisse für die Ablation mit zwei verschiedenen Fluence-Werten gezeigt. Das obere Diagramm und die obere Tabelle zeigen Resultate bei einer Ablation mit einer Fluence, die etwa um den Faktor 1,8 über der Fluence lag, die zu den Werten des unteren Diagramms und der unteren Tabelle führte.

10

Wie aus dem Vergleich zu erkennen ist, führt eine Variation der Fluence nicht nur zur einer generellen Variation der Wellenfront-Amplitude bzw. gleichen absoluten oder relativen Änderung der entsprechenden Zernike-Koeffizienten bzw. der Ablationstiefe bei gleichbleibender Beiträgen bestimmter Aberrationen. Vielmehr variiert auch die Zusammensetzung der Aberrationen bzw. Zernike-Koeffizienten in dem Sinne, daß einige Zernike-Koeffizienten Werte annehmen, die innerhalb der zu erwartenden Genauigkeit als Null zu interpretieren sind, so daß sie keinen Beitrag zu der Summe der Aberrationen leisten. Dabei erweist sich die Änderung der Zusammensetzung als wohldefiniert und reproduzierbar.

15

So variieren in dem in Fig. 7 gezeigten Beispiel der Zernike-Koeffizient des $Z(6,2)$ Anteils bei hoher Fluence im Vergleich zu dem Zernike-Koeffizienten bei niedriger Fluence um einen Faktor von ca. 3, der $Z(6,0)$ - Koeffizient um einen Faktor von etwas 10, der $Z(4,4)$ -Koeffizient um einen Faktor von etwas 6 und der $Z(4,2)$ -Koeffizient schließlich um einen Faktor von etwa 2.

20

Ähnliche Zusammenhänge zwischen den Abweichungen, die zwischen Ablationsmustern auf Kalibrierkörpern, die mit verschiedenen Werten eines Systemparameters abladiert wurden, auftreten, und den entsprechenden Ist-Werten des Systemparameters findet man auch bei der Variation anderer Systemparameter wie beispielsweise dem Arbeitsabstand und der Spotform, beispielsweise hervorgerufen durch die typische Asymmetrie der Strahlprofile bei Excimer-Lasern etc.

25

30

Die Relationen zwischen der für den abladierten Kalibrierkörper gemessenen Wellenfront-Aberrationen und den Systemparametern können in einem bestimmten Maß abhängig von den insbesondere auch bauartbedingten Eigenarten des jeweils benutzten Behandlungssystems sein. Gegebenenfalls müssen sie im Einzelfall für das jeweils betrachtete System untersucht und bestimmt werden.

35

Mit den bestimmten Abweichungen der Systemparameter werden jetzt Korrekturmaßnahmen eingeleitet. In einem ersten Ausführungsbeispiel kann z.B. die Zentrierung und Achslage zwischen der Augenbewegungsverfolgungseinrichtung ("eye-tracker" bzw. "Limus-tracker") und der Ablenkeinrichtung durch geeignete Stelleinrichtungen bzw. -elemente oder elektronische
5 Regelung im Werk oder vom Servicetechniker vor Ort manuell nachkorrigiert werden.

In anderen Ausführungsformen der Erfindung können die Werte der Systemparameter auch anders als über die Analyse von Zernike-Koeffizienten erhalten werden. So kann auch eine Differentialanalyse der Wellenfronten für verschiedenen Systemparameter benutzt werden.
10 Auch hierfür können definierte Regeln aufgestellt werden, die bestimmte Wellenfronten bzw. Ablationsmuster in Relation zu bestimmten Systemparametern setzten.

Bei einer alternativen Ausführungsform des Verfahrens und damit auch der Auswerteeinrichtung 9 erfolgt die Ermittlung der Ist-Werte dieser Systemparameter direkt aus
15 dem Vergleich zwischen Soll- und Ist-Werten für das durch die Ablation erreichte Ablationsprofil des abladierten Kalibrierkörpers 11 in Form von Topographiedaten, beispielsweise "Elevation-Maps", "Höhenkasten" und dergleichen, die aus den mittels des Aberrometers 12 bestimmten Aberrationen durch modale Rekonstruktion oder auch durch zonale Rekonstruktion der Wellenfront mittels numerischer Integration nach dem Fachmann bekannten Verfahren erhalten
20 werden. Zur Umrechnung von Höhendaten der abladierten Kalibrierkörperoberfläche in Wellenfrontdaten, d.h. optische Wegdifferenzen und umgekehrt muß u.a. der Brechzahlunterschied zwischen den beiden Medien Luft und PMMA berücksichtigt werden. Die optische Weglänge OPL ist definiert als: $OPL = n \times L$, woraus für die optische Weglängendifferenz DOPL zwischen PMMA und Luft $DOPL = (n_{PMMA} - n_{Luft}) \times L$ folgt. Hierbei stellt
25 L die lokale Dicke des Kalibrierkörpers dar, die unmittelbar auf die Form der abladierten Oberfläche des PMMA-Kalibrierkörpers 11 führt.

Bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung unterscheidet sich das in Fig. 8 stark schematisch gezeigte Gesamtsystem aus Behandlungssystem 25 und Systemparameterbestimmungsvorrichtung 26 von dem Gesamtsystem des ersten Ausführungsbeispiels aus
30 Behandlungssystem 1 mit Halter 10 und Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 durch eine veränderte Steuereinrichtung 27 des Behandlungssystems 25, eine veränderte Auswerteeinrichtung 28 der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 26 und eine Datenverbindung 29 zwischen der Auswerteeinrichtung 28 und der Steuereinrichtung 27. Da die
35 anderen Komponenten unverändert sind, werden für sie die gleichen Bezugszeichen verwendet und es gelten die Erläuterung zur Ausführungsform.

Die Auswerteeinrichtung 28 ist gegenüber der Auswerteeinrichtung 9 dahingehend abgeändert, daß sie aus den Untersuchungsdaten des Aberrometers 12 automatisch Werte für Korrekturparameter bzw. entsprechende Stellgrößen des Behandlungssystems 25 ermittelt und diese an das Behandlungssystem über die Datenverbindung 29 ausgibt, wozu sie über eine in
5 den Figuren nicht gezeigte Korrekturwertermittlungseinrichtung verfügt. Insbesondere kann sie dazu ein entsprechendes Programmmodul aufweisen, das die entsprechenden Berechnungen in Abhängigkeit von Aufbau, Eigenschaften und Stellgrößen des Behandlungssystems ermittelt.

Die Steuereinrichtung 27 des Behandlungssystems 25 weist eine Schnittstelle zum Empfang
10 der Werte für die Korrekturparameter bzw. die Stellgrößen auf und ist weiter zur Veränderung der Stellgrößen entsprechend den empfangenen Korrekturwerten ausgebildet, wozu auch hier ein entsprechendes Programmmodul vorgesehen sein kann.

Während im vorliegenden Ausführungsbeispiel die Datenverbindung 29 vorgesehen ist, kann
15 die Auswerteeinrichtung alternativ auch zur Abgabe entsprechender Steuersignale und die Steuereinrichtung zur Verarbeitung der Steuersignale ausgebildet sein.

Die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 des Aberrometers 12 stellt wie im ersten Ausführungsbeispiel nur die Untersuchungsdaten, im Beispiel Wellenfrontdaten bzw. hieraus
20 ermittelte Aberrationen z.B. in Form von Zernike-Koeffizienten und/oder Höhendaten, zur Verfügung, die an die Auswerteeinrichtung 28 ausgegeben werden. Dort findet zunächst die Bestimmung der Ist-Werte der Systemparameter und daraus die Ermittlung der Soll-Ist-Abweichungen statt. Aus den Soll-Ist-Abweichungen der Systemparameter werden dann Korrekturwerte für geeignete Korrekturparameter bzw. Stellgrößen des Behandlungssystems 25
25 abgeleitet, wozu eine entsprechende Prozedur und entsprechende Daten über das Behandlungssystem 25 verwendet werden. Diese Korrekturwerte werden über die Datenverbindung 29 an die Steuereinrichtung 27 im Behandlungssystem 25 übertragen. Die Steuereinrichtung 27 stellt die nötigen Stellsignale für die Steuerung oder Regelung von Stelleinrichtungen der optischen oder elektronischen Komponenten des Behandlungssystems
30 zur Verfügung, mit denen die Systemparameter verändert werden. Bei geeigneter Vorgabe der Soll-Werte und der Prozedur zur Ermittlung der Korrekturwerte der Korrekturparameter kann so z.B. der werkseitige Kalibrierungs- bzw. Systemzustand automatisch wieder eingestellt werden.

Im vorliegenden Ausführungsbeispiel können insbesondere Stellgrößen für Stelleinrichtungen
35 der Fokussieroptik 4, im Beispiel zur Verschiebung eines abbildenden Linsensystems verwendet werden, um die Systemparameter Arbeitsabstand und Astigmatismuskorrektur des Laserstrahls, d.h. dessen Strahlform, zu ändern. Weiter können Stellgrößen für mechanische/elektrische Stelleinrichtungen zur Modifikation der Ablenkeinrichtung 5, für

Stelleinrichtungen für den Excimer-Laserkopf zur Regulierung der Fluence und für Stelleinrichtungen für eine elektro-mechanische Regulierung von in den Figuren nicht gezeigten Laserstrahlabschwächern des Behandlungssystems 25 verändert werden.

- 5 Die bei dem im ersten Ausführungsbeispiel geschilderten Verfahren durch eine Bedienperson notwendige Ermittlung der Korrekturwerte bzw. Werte für die Korrekturparameter oder Stellgrößen und die entsprechende Einstellung des Behandlungssystems 1 kann nun automatisch durchgeführt werden, so daß im Ergebnis ein Verfahren zur Bestimmung der Ist-Werte der Systemparameter und zur automatischen Kalibrierung des Behandlungssystems 25
10 realisiert ist.

- Bei dem beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel kann insbesondere die Auswerteeinrichtung als separates Modul ausgeführt sein. Dies hat den Vorteil, daß verschiedene Aberrometer und Behandlungssysteme benutzt werden können und für das
15 jeweilige Aberrometer und/oder das jeweilige Behandlungssystem gerätetypische Varianten über eine entsprechende Hardware- und/oder Software-Anpassung des Modul berücksichtigt werden können.

- In anderen Ausführungsbeispielen kann die Auswerteeinrichtung 28 aber auch in die
20 Steuereinrichtung 27 oder alternativ in die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 integriert sein. Eine separate Einheit entfällt dann, vielmehr kann es sogar genügen, entsprechende Programmodule bereitzustellen.

- Bei einem dritten, in Fig. 9 veranschaulichten Ausführungsbeispiel unterscheidet sich das
25 Gesamtsystem aus Behandlungssystem und Systemparameterbestimmungsvorrichtung von dem Gesamtsystem aus Behandlungsvorrichtung 1 mit Halter 10 und Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 des ersten Ausführungsbeispiels dadurch, daß die Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 in das Behandlungssystem 30 einem gemeinsamen Gehäuse integriert ist.

- 30 Diese Ausführungsform ist interessant, da die meisten Behandlungssysteme für refraktive Hornhautchirurgie heute mit Aberrometern und/oder Profilometern bzw. Topographiesystemen zur Durchführung von patientenspezifischen Korrekturen ("Customized Ablation") ausgestattet sind. Ein Aberrometer oder Profilometer kann beispielsweise nach Bereitstellung
35 entsprechender Mittel, beispielsweise Bereitstellung eines dem Halter 18 entsprechenden Halters in Form einer Testaugeneinheit und gegebenenfalls Bereitstellung eines Programmmoduls für die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13, dazu benutzt werden, um die

Aberrationen von Kalibrierkörpern zu messen. Ein Servicetechniker vor Ort kann jetzt dieses Mittel nutzen, um mit dem Behandlungssystem vor Ort erzeugte Kalibrierkörper zu untersuchen.

5 Zur Integration in das Behandlungssystem eignen sich z.B. Aberrometer, die wie das Aberrometer in Fig. 2 aufgebaut sind. Aber auch andere Aberrometer nach anderen Funktionsweisen wie z.B. Aberrometer nach Tscherning oder solche, die auf Skiaskopie basieren, sind tauglich. Zur Integration kann darüber hinaus auch auf komplette handelsübliche Produkte, beispielsweise den oben genannten WASCA Wavefront Analyzer, oder speziell angepaßte OEM-Produkte zurückgegriffen werden.

10

Bei einem vierten Ausführungsbeispiel ist das Behandlungssystem 1 mit dem Halter 10 und der integrierten Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 daher dahingehend modifiziert, daß die Auswerteeinrichtung 9 durch die Auswerteeinrichtung 28 mit der Korrekturwertermittlungseinrichtung ersetzt ist. Die Auswerteeinrichtung ist jedoch durch eine
15 entsprechendes Programmmodul für die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 in Form von Zusatzsoftware realisiert. Mittels des Programmmoduls, das in der Meßdatenverarbeitungseinrichtung abläuft, werden Systemparameter und Korrekturparameter ermittelt. Diese erlauben es dem Techniker vor Ort schnelle und umfassende, insbesondere durch die Korrekturparameter wohldefinierte Veränderungen am Behandlungssystem vorzunehmen. Das
20 erhöht die Sicherheit und Genauigkeit, mit der Behandlungssysteme überprüft und optimal eingestellt werden können.

Bei einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Gesamtsystem aus Behandlungssystem und Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach dem dritten oder
25 vierten Ausführungsbeispiel in Bezug auf die Handhabung des Kalibrierkörpers verändert.

Während dort der Kalibrierkörper 11 manuell zur Ablation in den Halter 10 und zur Vermessung in den Halter 18 gesetzt wurde, ist nun wenigstens das Aberrometer 12 mit dem Halter 18 relativ zu dem ansonsten dem Behandlungssystem 1 entsprechenden Behandlungssystem 46
30 bewegbar am Behandlungssystem so gehalten, daß ein in dem Halter 18 gehaltener Kalibrierkörper zur Ablation in den Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems 46, d.h. in den Behandlungslaserstrahl 3, bewegbar ist.

In dem in Fig. 10 gezeigten Beispiel sind das Aberrometer 12 und der Halter 18 in den
35 Behandlungsstrahlengang verfahrbar, alternativ kann jedoch ein Verschwenken vorgesehen sein. Dabei zeigt Fig. 10 das Behandlungssystem 46 und insbesondere die Ablenkeinrichtung 5 nur teilweise. Von der Ablenkeinrichtung 5 sind Optiken 31, 32, 33 und 34 in einem Gehäuse 35 des Behandlungssystems 1 gezeigt.

Die Strahlumlenkung 17 in dem Aberrometer 12 ist als dichroitischer Umlenkspiegel ausgeführt, der durch eine entsprechende Beschichtung für die optische Strahlung des Behandlungslaserstrahls durchlässig aber die optische Strahlung des Meßstrahlenbündels 15 reflektierend ist, so daß eine Ablation ohne Bewegung der Strahlumlenkung möglich ist. Eine etwaige Schwächung des Behandlungslaserstrahls 3 durch die Strahlumlenkung 17 kann dann bei der Ermittlung der Ist-Werte der Systemparameter aus den Untersuchungsdaten berücksichtigt werden.

10 Zur Bestimmung der Werte der Systemparameter wird das Aberrometer 12 mit dem Halter 18 und dem darin gehaltenen, gegebenenfalls gefaßten Kalibrierkörper 11 für die Ablation definiert unter den Behandlungslaserstrahl 3 gefahren oder geschwenkt. Dieser Vorgang erfolgt bei diesem Ausführungsbeispiel manuell oder in einer anderen bevorzugten erfindungsgemäßen Ausführungsform automatisiert, z.B. durch elektromotorischen Antrieb. Diese Anordnung hat
15 den Vorteil, daß der Ablationsfortschritt auf dem Kalibrierkörper mit der Erfassungsfrequenz des Aberrometers verfolgt werden kann.

Bei sechsten bzw. siebten Ausführungsformen ist die Systemparameterbestimmungsvorrichtung des vorhergehenden Ausführungsbeispiels dahingehend modifiziert,
20 daß das Aberrometer 12 mit einer anderen Strahlumlenkung 17 ausgestattet, die manuell bzw. automatisiert in und aus dem Behandlungsstrahlengang bewegbar ist.

Eine achte Ausführungsform der Systemparameterbestimmungsvorrichtung unterscheidet sich von der Systemparameterbestimmungsvorrichtung des fünften bis siebten Ausführungsbeispiels
25 durch ein Magazin, in dem mehrere, gegebenenfalls gefaßte Kalibrierkörper bevorratet werden. Als Magazin kann insbesondere ein dreh- bzw. schwenkbarer Wechselrevolver vorgesehen sein, aus dem eine Bedienperson einen Kalibrierkörper nachladen kann.

Eine neunte Ausführungsform der Erfindung unterscheidet sich von den zuvor beschriebenen
30 Ausführungsbeispielen dadurch, daß der Kalibrierkörper, mit etwaiger Fassung über eine elektrisch, vorzugsweise automatisch, gesteuerte Wechseleinrichtung, beispielsweise mit einem elektromotorischen Antrieb, wechselbar ist.

Eine zehnte Ausführungsform unterscheidet sich von der fünften bevorzugten Ausführungsform
35 der Erfindung dadurch, daß nicht das gesamte Aberrometer 12 bewegbar ist, um den darin gehaltenen Kalibrierkörper 11 unter den Behandlungslaserstrahl 3 zu bewegen, sondern nur der Kalibrierkörper 11 wechselweise zur Ablation unter den Behandlungslaserstrahl 3 und zur Untersuchung, im Beispiel mittels einer Wellenfrontmessung, in das Meßstrahlenbündel 15 des

Aberrometers 11 transferiert wird. Dazu ist, wie Fig. 11 zeigt, ein Halter 36 für einen, gegebenenfalls gefaßten, Kalibrierkörper 11 an der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 bzw. dem Behandlungssystem 46 angebracht, der zwischen einer Ablationslage, in der der in dem Halter 36 gehaltene Kalibrierkörper zur Ablation im Behandlungsstrahlengang liegt, und einer Meßlage, in der der in dem Halter 36 gehaltene Kalibrierkörper zur Untersuchung in der Untersuchungseinrichtung 8, im Beispiel dem Aberrometer 12, insbesondere in einem Meßstrahlengang, manuell hin- und herbewegbar, insbesondere schwenk- oder verschiebbar ist. Die Systemparameterbestimmungsvorrichtung unterscheidet sich ansonsten nicht von der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 des fünften Ausführungsbeispiels. Das Behandlungssystem 46 ist unverändert.

Bei einer Modifikation des zehnten Ausführungsbeispiels ist der Halter 36 über einen Antrieb, vorzugsweise elektrisch gesteuert, bewegbar.

Ein Behandlungssystem 37 mit einer integrierten Systemparameterbestimmungsvorrichtung 39 nach einer elften Ausführungsform ist teilweise in Fig. 12 gezeigt und unterscheidet sich von dem fünften Ausführungsbeispiel dadurch, daß der Behandlungslaserstrahl 3 über einen bewegbaren Umlenkspiegel 38 auf einen in der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 39 gehaltenen Kalibrierkörper 11 lenkbar ist. Der Halter bzw. der Kalibrierkörper 11 und die Untersuchungseinrichtung müssen dadurch zur Systemparameterbestimmung nicht bewegt werden.

Die Systemparameterbestimmungsvorrichtung 39 unterscheidet sich von der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 7 des fünften Ausführungsbeispiels dabei dadurch, daß der Meßstrahlengang linear verläuft. Für alle Komponenten der Systemparameterbestimmungsvorrichtung 39 bis auf die Strahlumlenkung 17 gelten die Erläuterungen entsprechend. Das Behandlungssystem 37 weist die gleichen Komponenten wie das Behandlungssystem 1 auf, wobei insbesondere die Ablenkeinrichtung 5 wie in dem fünften Ausführungsbeispiel ausgebildet ist. Es werden daher für gleiche Komponenten die gleichen Bezugszeichen verwendet.

Der Umlenkspiegel 38 ist zwischen einer Behandlungslage, in der er weder in dem Behandlungs- noch in dem Meßstrahlengang angeordnet ist und so eine Behandlung eines Auges 40 erlaubt, und einer Ablations- und Meßlage bewegbar. Im Beispiel ist der Umlenkspiegel 38 linear verschiebbar, er kann in anderen Ausführungsbeispielen aber auch schwenk- oder drehbar sein.

In der Ablations- und Meßlage ist der Umlenkspiegel 38 am Schnittpunkt von Behandlungsstrahlengang und Meßstrahlengang angeordnet. Durch eine entsprechende Beschichtung reflektiert er optische Strahlung des Behandlungslaserstrahls 3 und transmittiert optische Strahlung des Meßstrahlenbündels 15, so daß während der Ablation eine Erfassung des Ablationsfortschritts mit der Erfassungsfrequenz des Aberrometers 12 möglich ist.

Die Bewegung des Umlenkspiegels 38 zwischen der Behandlungslage und der Ablations- und Meßlage erfolgt in dem gezeigten Ausführungsbeispiel manuell. In einer weiteren Abwandlung kann die Bewegung mittels eines entsprechenden Antriebs erfolgen. Alternativ kann auch ein separater Spiegel für die Einblendung des Meßstrahlenbündels beispielsweise zwischen Kalibrierkörper und Umlenkspiegel 38 verwendet werden.

Ein in Fig. 13 schematisch gezeigtes zwölftes Ausführungsbeispiel unterscheidet sich von dem dritten bis elften Ausführungsbeispiel dadurch, daß statt der Steuereinrichtung 6 und der Auswerteeinrichtung 9 die Steuereinrichtung 27 und die Auswerteeinrichtung 28 des zweiten Ausführungsbeispiels verwendet werden, wobei diese ebenfalls über eine Datenleitung 29 verbunden sind. Damit ist, wie in dem zweiten Ausführungsbeispiel, eine automatische Kalibrierung möglich. Auch hier kann die Auswerteeinrichtung auch hier in die Steuereinrichtung oder die Meßdatenverarbeitungseinrichtung der Untersuchungseinrichtung 8 bzw. des Aberrometers 12 integriert sein.

Ein Behandlungssystem mit einer integrierten Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einer dreizehnten Ausführungsform zeigt Fig. 14. Es erlaubt die Messung, Verfolgung und Kontrolle der Ablation während der Behandlung des Auges. Im Unterschied zu dem zwölften Ausführungsbeispiel in Fig. 13 ist der Halter 18 für den Kalibrierkörper 11 nicht beweglich. Statt dessen wird der Behandlungslaserstrahl 3 durch einen Strahlteiler 41 in zwei Teilstrahlen aufgeteilt, so daß der eine Teilstrahl 42 zur Behandlung des Auges und der andere Teilstrahl 43 zur Ablation des Kalibrierkörpers 11 verwendet wird. Das Behandlungssystem entspricht bis auf den Strahlteiler 41 und gegebenenfalls das Gehäuse dem Behandlungssystem des zwölften Ausführungsbeispiels; ebenso gleicht die Systemparameterbestimmungsvorrichtung 44 bis auf den Halter 18 und die Auswerteeinrichtung 45 der Systemparameterbestimmungsvorrichtung des zwölften Ausführungsbeispiels. Für gleiche Komponenten werden daher gleiche Bezugszeichen verwendet und es gelten die zuvor erwähnten Erläuterungen zu diesen Komponenten auch hier.

35

Die Auswerteeinrichtung 45 unterscheidet sich in zwei Merkmalen von der Auswerteeinrichtung 28. Zum einen berücksichtigt sie bei der Bestimmung der Korrekturwerte in der Auswerteeinrichtung 45 bzw. in deren Korrekturwertermittlungseinrichtung, daß der

Behandlungslaserstrahl 3 in die zwei Teilstrahlen aufgeteilt ist. Zum anderen bestimmt die Auswerteeinrichtung 45 aus dem Fortgang der Ablation Ist-Werte von Systemparametern. Bei der Behandlung und der gleichzeitigen Bestimmung von Ist-Werten der Systemparameter werden für den Kalibrierkörper 11 Untersuchungsdaten, z.B. durch Messung der Wellenfrontverformung und Auswertung der Daten unter Bildung von Wellenfrontdaten, mit einer vorgegebenen Erfassungsfrequenz des Aberrometers des zwölften Ausführungsbeispiels erfaßt. Aus diesen werden dann mit der gleichen Frequenz Ist-Werte der Systemparameter bestimmt, die wiederum mit gleicher Frequenz Korrekturwerte von Korrekturparametern liefern, mit denen die Steuereinrichtung 27 die Stelleinrichtungen des Behandlungssystems entsprechend ansteuert.

Bei der somit zyklisch erfolgenden Bestimmung von Ist-Werte der Systemparameter werden daher Referenzdaten für den Ablationsfortschritt ermittelt, der ausgehend von dem in dem vorhergehenden Zyklus über die Untersuchungsdaten zumindest indirekt erfaßten Ablationsprofil bei Vorliegen der im vorhergehenden Zyklus bei der Ermittlung der Korrekturwerte vorausgesetzten Soll-Werte der Systemparameter zu erwarten ist. Aus einem Vergleich der Untersuchungsdaten in dem aktuellen Zyklus und den so aus den Untersuchungsdaten des vorhergehenden Zyklus ermittelten Referenzdaten werden dann Ist-Werte der Systemparameter in dem aktuellen Zyklus ermittelt. Die Auswerteeinrichtung 45 ist daher zur zyklischen Ermittlung von Ist-Werten wenigstens eines Systemparameters bzw. Abweichungen wenigstens eines Systemparameters in Abhängigkeit von einem in einem vorhergehenden Zyklus ermittelten Ablationsprofil entsprechenden Untersuchungsdaten und Untersuchungsdaten eines aktuellen Zyklus ausgebildet.

Die so erzielte Nachregelung von Systemparametern auf Soll-Werte mit der Erfassungsfrequenz des Aberrometers durch Ermittlung der entsprechenden Ist-Werte bzw. Abweichungen von Soll-Werten und hieraus der Korrekturwerte sowie die Nachstellung der entsprechenden Stelleinrichtungen während der Behandlung eines Patienten ermöglicht eine sehr genau den Vorgaben entsprechende Ablation des Auges erreicht wird. Feste Ablationsprogramme können also während der gesamten Behandlung bei konstant optimalen Systemparametern durchgeführt werden.

Die Auswerteeinrichtung 45 kann, wie in vorhergehenden Ausführungsbeispielen erwähnt, alternativ auch in die Steuereinrichtung 27 oder die Meßdatenverarbeitungseinrichtung 13 integriert werden.

Eine konkreter Darstellung eines Teils eines Behandlungssystems nach diesem Ausführungsbeispiel kann, wie in Fig. 15 gezeigt, hinsichtlich des Strahlenganges ähnlich wie

das Behandlungssystem 37 des elften Ausführungsbeispiels aufgebaut sein. Der Umlenkspiegel 38 ist dann durch den Strahlteiler 41 ersetzt. Die Strahlteilung kann dabei verschiedene, bei der Systemparameterbestimmung und der Korrekturwertermittlung zu bestimmende Werte annehmen und ist für eine spezielle Anordnung lediglich einmal festzulegen. Das Gesamtsystem zur Steuerung der Ablation wird dann auf dieses Strahlteilungsverhältnis hin ausgelegt und kalibriert.

Bei einer vierzehnten Ausführungsform erfolgt die Steuerung der Ablation in modifizierter Form. Gegenüber dem dreizehnten Ausführungsbeispiel sind die Steuereinrichtung 27 und die Auswerteeinrichtung 45 modifiziert. Wie bereits erwähnt, wird bei der Ermittlung der Systemparameter während der Behandlung der Ablationsfortschritt durch Bestimmung des Oberflächenprofils des Kalibrierkörpers über die Fläche lokal zumindest indirekt ermittelt. Die Beschreibung der durch Ablation erhaltenen Fläche ist über reine Höhendaten aber auch als Polynomzerlegung, z.B. einer Zerlegung in Zernike-Polynomen, möglich. Die modifizierte Auswerteeinrichtung ist nun so ausgebildet, daß das erzielte Ist-Ablationsprofil mit den Korrekturwerten an die modifizierte Steuereinrichtung ausgegeben wird. Diese stellt nicht nur die Stelleinrichtungen entsprechend den Korrekturwerten, wie in dem vorhergehenden Ausführungsbeispiel, nach, sondern führt auch einen Vergleich des Ist-Ablationsprofils mit dem durch die Behandlung zu erreichenden, vor der Behandlung festgelegten Soll-Ablationsprofil des Kalibrierkörpers 11, das aus dem Soll-Ablationsprofil des Auges ermittelt wurde, durch. Auf der Basis der nachgestellten Stelleinrichtungen und damit Systemparameter wird nun das Ablationsprogramm mittels eines geeigneten Programmmoduls so modifiziert, daß die Ist-Ablation des Kalibrierkörpers 11 sich möglichst gut der Soll-Ablation des Kalibrierkörpers 11 annähert.

Wurde, beispielsweise durch entsprechende empirische Untersuchungen, ein zuverlässiger Zusammenhang zwischen dem Ablationsverhalten des Auges bzw. der Hornhaut und dem des Kalibrierkörpers ermittelt, kann so sehr genau und schnell ein gewünschtes Soll-Ablationsprofil des Auges erzielt werden.

Bei dieser Ausführungsform ist es nicht mehr nötig, wie bisher mit festen Ablationsprogramme bzw. -algorithmen auf Erfahrungswerten für die Ablation basierend mit einem festen Ablationsprogramm zu ablatieren. Vielmehr erfolgt die Steuerung des Ablationsprogramms dynamisch und basierend auf der aktuell bestimmtem Ist-Ablation des Kalibrierkörpers. Es kann also an den Stellen der Hornhaut ablatiert werden, an denen noch keine eine optimale Ziel- bzw. Solloberfläche erreicht ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Ist-Wertes wenigstens eines Systemparameters oder einer
5 Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters eines
Augenbehandlungs-Systems (1; 25; 37; 46) mittels eines vom Augenbehandlungs-Systems (1;
25; 37; 46) abgegebenen Behandlungslaserstrahls (3), wobei eine Oberfläche eines
Kalibrierkörpers (11) mit wenigstens einem Teilstrahl des Behandlungslaserstrahls (3) gemäß
10 einem vorgegebenen Ablationsprogramm abladiert wird, die von dem Behandlungslaserstrahl
(3) abladierte Oberfläche mittels Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht, und aus bei
der Untersuchung ermittelten Untersuchungsdaten der Ist-Wert des Systemparameters oder die
Abweichung von dem Soll-Wert des Systemparameters bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zur Ablation ein im zu ablatierenden Bereich
15 plattenförmiger Kalibrierkörper (11) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Kalibrierkörper (11) verwendet wird, der wenigstens
im zu ablatierenden und zu untersuchenden Bereich eine kugelförmige Gestalt besitzt.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Kalibrierkörper verwendet wird, der einen
wenigstens teilweise zu ablatierenden Oberflächenbereich mit der Form des zu behandelnden
Hornhautabschnitts des Auges (40) aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als Kalibrierkörper (11) ein
25 Polymethylmethacrylat-Kalibrierkörper verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Kalibrierkörper (11)
verwendet wird, der für eine Wellenlänge einer bei der Aberrometrie oder Profilometrie zur
Messung benutzten optischen Strahlung nicht transparent ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Filter zur Separation des Behandlungslaserstrahls und der zur Untersuchung verwendeten optischen Strahlung verwendet wird.
- 5 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Kalibrierkörper (11) bei der Untersuchung in der Arbeitsebene des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) oder einer dazu gleichwertigen Ebene angeordnet ist.
- 10 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren während einer Behandlung des Auges (40) durchgeführt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der Behandlungslaserstrahl (3) alternierend auf das Auge (40) und auf den Kalibrierkörper (11) gelenkt wird.
- 15 11. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem der Behandlungslaserstrahl (3) aufgeteilt wird und bei dem mit dem einem Teil der Kalibrierkörper (11) ablatiert und mit dem anderen Teil das Auge (40) behandelt wird.
- 20 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Meßstrahlenbündel (15), das zur Untersuchung des Kalibrierkörpers (11) verwendet wird, kollinear zu dem Behandlungslaserstrahl (3) oder einem davon abgeteilten Teilstrahl (43) in den Strahlengang des Behandlungslaserstrahls bzw. des Teilstrahls zur Ablation des Kalibrierkörpers (11) eingekoppelt wird.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zur Untersuchung des Ablationszustandes des ablatierten Kalibrierkörpers (11) mit Aberrometrie eine Erfassung und Auswertung von Daten in Bezug auf eine mittels des ablatierten Kalibrierkörpers (11) beeinflusste Wellenfront bzw. eine Veränderung der Wellenfront durchgeführt wird.
- 30 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem für die Profilometrie ein optisch arbeitendes Verfahren verwendet wird.
- 35 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Ist-Werte bzw. die Abweichungen von entsprechenden Soll-Werten für wenigstens zwei Systemparameter aus den gleichen Untersuchungsdaten ermittelt werden.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Abweichung des Ist-Wertes des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. der Abweichungen der Ist-Werte der

Systemparameter von den Soll-Werten auf der Basis eines Vergleichs der Untersuchungsdaten mit entsprechenden Referenzdaten ermittelt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem ein Referenzkörper mit einem vorgegebenen Ablationsmuster mit Aberrometrie und/oder Profilometrie untersucht wird und die erhaltenen Untersuchungsdaten als Referenzdaten verwendet werden.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, wobei das Verfahren zyklisch durchgeführt wird, und aus Untersuchungsdaten eines vorhergehenden Zyklus Referenzdaten für den aktuellen Zyklus ermittelt werden.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. den ermittelten Ist-Werten der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens ein Wert für einen Korrekturparameter für das Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) ermittelt wird, der dazu geeignet ist, wenigstens eine Abweichung von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. den ermittelten Ist-Werten der Systemparameter oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens eine entsprechende Einstellung einer Stalleinrichtung des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) verändert wird, um Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Programm zur zeitlichen Änderung der Lage und/oder Intensität des Behandlungslaserstrahls (3) zur Erzielung eines vorgegebenen Ablationsprofils oder wenigstens ein Parameterwert für das Programm entsprechend dem Ist-Wert des Systemparameters bzw. den Ist-Werten der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten verändert wird.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem auf der Basis des Ist-Werts des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten die Einstellung des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) automatisch zur

Verringerung der Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert bzw. der Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Werten geändert wird.

23. Systemparameterbestimmungsvorrichtung zur Bestimmung wenigstens eines Ist-Wertes
5 eines Systemparameters oder eine Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines
Systemparameters eines Systems (1; 25; 37; 46) zur Behandlung eines Auges (40) mittels
eines von dem System (1; 25; 37; 46) abgegebenen Behandlungslaserstrahls (3) mit einer
Einrichtung (8) zur Untersuchung wenigstens eines Abschnitts einer abladierten Oberfläche
eines abladierten Kalibrierkörpers (11) mit Aberrometrie und/oder Profilometrie, und einer mit
10 der Untersuchungseinrichtung (8) verbundenen Auswerteeinrichtung (9; 28), mittels der aus den
bei der Untersuchung ermittelten Untersuchungsdaten der Ist-Wert des Systemparameters oder
die Abweichung von dem Soll-Wert des Systemparameters bestimmbar ist.

24. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach Anspruch 23, bei der ein für optische
15 Strahlung mit der Polarisation und/oder Wellenlänge des Behandlungslaserstrahls
undurchlässiges Filter im Strahlengang der Untersuchungseinrichtung vor einem Photodetektor
der Untersuchungseinrichtung angeordnet ist.

25. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach Anspruch 23 oder 24, bei der die
20 Untersuchungseinrichtung (8) ein auf der Basis von Wellenfrontdaten arbeitendes Aberrometer
(12) umfaßt.

26. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach Anspruch 25, bei der das Aberrometer (12)
einen Hartmann-Shack-Sensor aufweist.

25

27. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 26, bei der die
Untersuchungseinrichtung ein optisch arbeitendes Profilometer umfaßt.

28. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 27, bei der die
30 Auswerteeinrichtung (9; 28) dazu ausgebildet ist, aus den gleichen Untersuchungsdaten für
wenigstens zwei Systemparameter ein Ist-Wert und/oder eine Abweichung von einem
entsprechenden Soll-Wert zu ermitteln.

29. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 28, bei der die
35 Auswerteeinrichtung (9; 28) zur Ermittlung der Abweichung des Ist-Wertes des
Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. der Abweichungen der Ist-Werte der
Systemparameter von den Soll-Werten durch Vergleich der Untersuchungsdaten mit
entsprechenden Referenzdaten ausgebildet ist.

30. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach Anspruch 29, wobei die Systemparameterbestimmungsvorrichtung einen Speicher zur Speicherung der Referenzdaten aufweist.
- 5 31. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach Anspruch 29 oder 30, wobei die Systemparameterbestimmungsvorrichtung einen Referenzkörper aufweist, der ein vorgegebenes Referenzablationsmuster aufweist.
- 10 32. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 29 bis 31, bei der die Auswerteeinrichtung dazu ausgebildet ist, bei zyklischer Erfassung von Untersuchungsdaten aus Untersuchungsdaten eines vorhergehenden Zyklus Referenzdaten für den aktuellen Zyklus zu ermitteln.
- 15 33. Systemparameterbestimmungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 23 bis 32, bei der eine Korrekturwertermittlungseinrichtung vorgesehen ist, mittels derer in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. den ermittelten Ist-Werten der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens ein Wert für einen
- 20 Korrekturparameter für das Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) ermittelt wird, der dazu geeignet ist, Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren.
- 25 34. System zur Behandlung eines Auges (40), das einen Behandlungslaser zur Abgabe eines Behandlungslaserstrahls (3), eine Ablenkeinrichtung (5) zur Ablenkung des Behandlungslaserstrahls (3), eine Steuereinrichtung (6, 27), mittels derer die Abgabe und Positionierung des Behandlungslaserstrahls (3) räumlich und zeitlich steuerbar ist, einen Halter (10; 36) für einen mit wenigstens einem Teilstrahl eines von dem Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) abgestrahlten Behandlungslaserstrahls (3) abladierebaren Kalibrierkörper (11), sowie eine Systemparameterbestimmungsvorrichtung (7; 26; 39) zur Bestimmung wenigstens eines
- 30 Ist-Wertes eines Systemparameters des Systems (1; 25; 37; 46) oder eine Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters des Systems (1; 25; 37; 46) nach einem der Ansprüche 23 bis 33 umfaßt.
- 35 35. System nach Anspruch 34, bei dem der Halter (10; 36) in einen Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) hinein und aus diesem heraus bewegbar ist.

36. System nach Anspruch 35, bei dem die Untersuchungseinrichtung (8) mit dem Halter (10; 36) als Einheit an oder auf einem Träger des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) gelagert und in den Behandlungsstrahlengang hinein und aus diesem heraus bewegbar ist.
- 5 37. System nach einem der Ansprüche 34 bis 37, bei dem eine Spiegeleinrichtung mit einem zwischen zwei Stellungen bewegbaren Spiegel (38) so angeordnet ist, daß der Behandlungslaserstrahl (3) entsprechend der Stellung des Spiegels (38) auf das Auge (40) oder auf den Kalibrierkörper (11) lenkbar ist.
- 10 38. System nach Anspruch 37, bei dem der Spiegel über einen Antrieb zwischen den beiden Stellungen hin und her bewegbar ist.
39. System nach Anspruch 38, bei dem die Bewegung des Spiegels mit der Abgabe des Behandlungslaserstrahls (3) synchronisiert ist.
- 15 40. System nach einem der Ansprüche 34 bis 39, bei dem ein Strahlteiler (41) im Behandlungsstrahlengang des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) angeordnet ist, mittels dem ein Teilstrahl (43) aus dem Behandlungslaserstrahl (3) zur Ablation des Kalibrierkörpers (11) abteilbar ist, der in dem außerhalb des Behandlungsstrahlengangs angeordneten Halter (18; 20 36) gehalten ist.
41. System nach einem der Ansprüche 37 bis 40, bei dem wenigstens der Spiegel (38) der Spiegeleinrichtung oder der Strahlteiler (41) hinter einer Fokussieroptik (4) oder der Ablenkeinrichtung (5) des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) angeordnet ist.
- 25 42. System nach einem der Ansprüche 34 bis 41, bei dem das Aberrometer (12) bzw. Profilometer der Untersuchungseinrichtung (8) in das Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) integriert ist.
- 30 43. System nach Anspruch 42, bei dem das Aberrometer (12) und/oder als Profilometer für die Untersuchungseinrichtung (8) in dem Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) zur Untersuchung des Auges (40) verwendbar ist.
- 35 44. System nach einem der Ansprüche 34 bis 43, bei dem ein Meßstrahlengang der Untersuchungseinrichtung (8) wenigstens teilweise kollinear zu einem Strahlengang des Behandlungslaserstrahls bzw. eines davon abgeteilten Teilstrahls (43) zur Ablation des Kalibrierkörpers (11) verläuft.

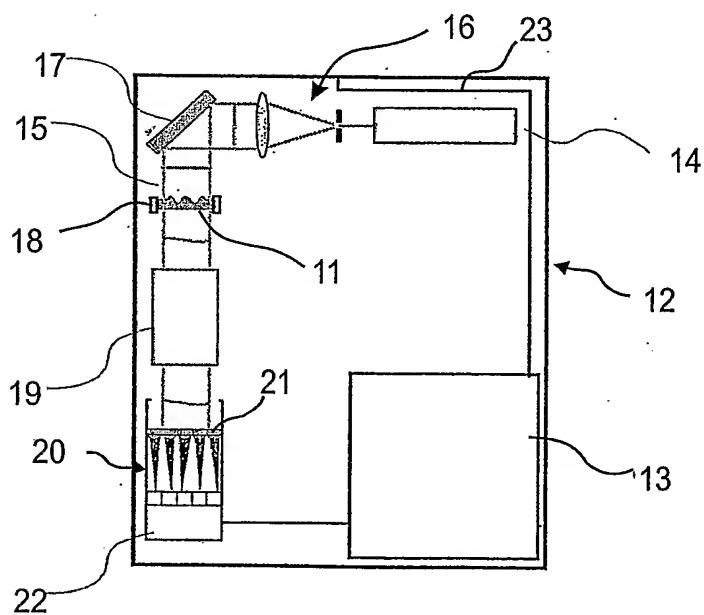
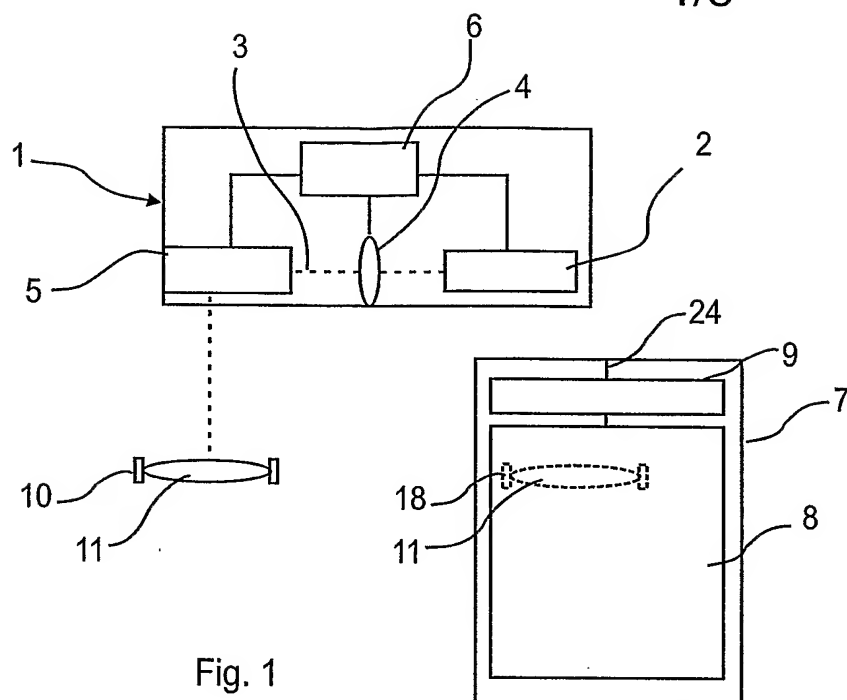
45. System nach einem der Ansprüche 34 bis 44, bei dem die Systemparameterbestimmungsvorrichtung (7; 26; 39) zur Bestimmung eines Ist-Wertes des Systemparameters oder einer Abweichung von einem Soll-Wert oder die Steuereinrichtung (6, 27) eine Korrekturwertermittlungseinrichtung aufweist, mittels derer in Abhängigkeit von dem ermittelten Ist-Wert des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten wenigstens ein Wert für einen Korrekturparameter für das Behandlungssystem (1; 25; 37; 46) ermittelt wird, der dazu geeignet ist, Abweichungen von einem Soll-Zustand oder einer Soll-Funktion zu reduzieren.

46. System nach einem der Ansprüche 34 bis 45, bei dem die Auswerteeinrichtung (9; 28) mit der Steuereinrichtung (6, 27) verbunden und die Steuereinrichtung (6, 27) derart ausgebildet ist, daß auf der Basis des Ist-Wertes des Systemparameters bzw. der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert die Stellung wenigstens einer Stelleinrichtung des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) änderbar ist.

47. System nach einem der Ansprüche 34 bis 46, bei dem die Auswerteeinrichtung (9; 28) mit der Steuereinrichtung (6, 27) verbunden und die Steuereinrichtung (6, 27) derart ausgebildet ist, daß auf der Basis des Ist-Wertes des Systemparameters bzw. den Ist-Werten der Systemparameter und/oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten ein Programm zur zeitlichen Änderung der Lage und/oder Intensität des Behandlungslaserstrahls (3) zur Erzielung eines vorgegebenen Ablationsprofils oder wenigstens ein Parameterwert für das Programm änderbar ist.

48. System nach einem der Ansprüche 34 bis 47, bei dem die Auswerteeinrichtung (9; 28) mit der Steuereinrichtung (6, 27) verbunden und Auswerte- und/oder die Steuereinrichtung (6, 27) derart ausgebildet sind, daß auf der Basis des Ist-Wertes des Systemparameters bzw. der Ist-Werte der Systemparameter oder der Abweichung des Systemparameters von dem Soll-Wert bzw. den Abweichungen der Systemparameter von den Soll-Werten die Einstellung des Behandlungssystems (1; 25; 37; 46) automatisch zur Verringerung der Abweichung zwischen Ist- und Soll-Wert bzw. der Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Werten änderbar ist.

1/8



2/8

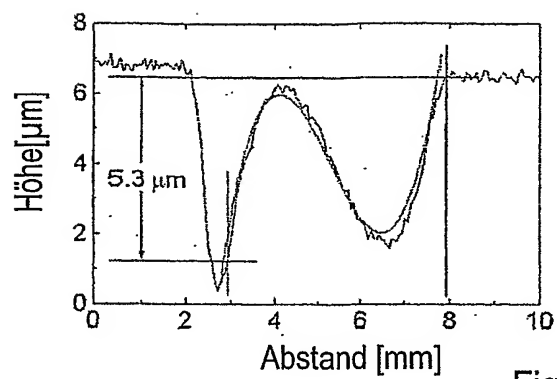


Fig. 3

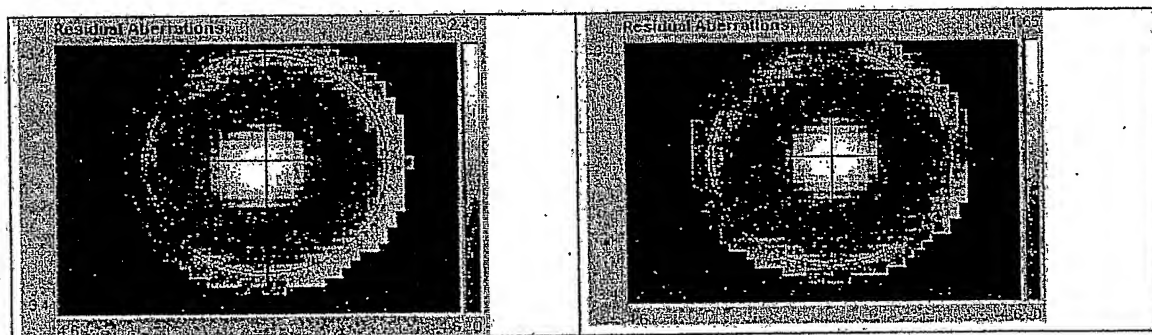


Fig. 4

3/8

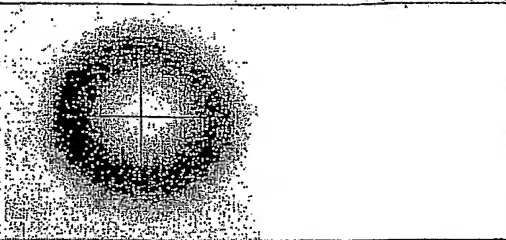
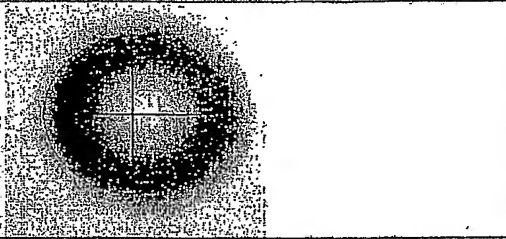
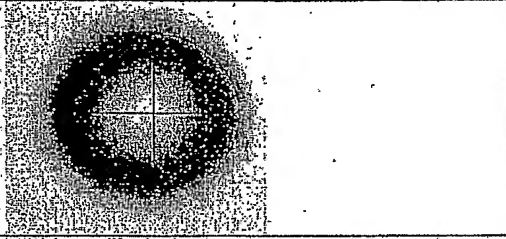
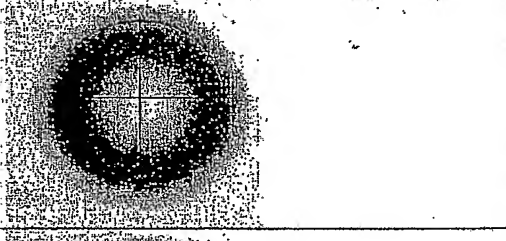
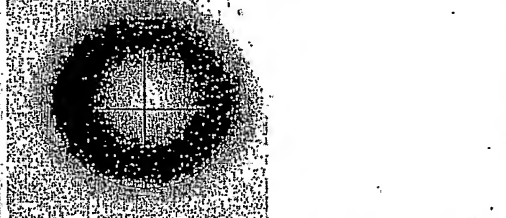
1		$Z_{3.3} = 2$ $Z_{3.1} = 125$ $Z_{3.1} = 25$ $Z_{3.3} = 51$ $Z_{4.4} = 31$ $Z_{4.2} = 12$ $Z_{4.0} = 1211$ $Z_{4.2} = 85$ $Z_{4.4} = 84$	
2		$Z_{3.3} = 16$ $Z_{3.1} = 120$ $Z_{3.1} = 132$ $Z_{3.3} = 41$ $Z_{4.4} = 28$ $Z_{4.2} = 12$ $Z_{4.0} = 1252$ $Z_{4.2} = 23$ $Z_{4.4} = 19$	
3		$Z_{3.3} = 83$ $Z_{3.1} = 1125$ $Z_{3.1} = 34$ $Z_{3.3} = 61$ $Z_{4.4} = 2$ $Z_{4.2} = 51$ $Z_{4.0} = 1170$ $Z_{4.2} = 112$ $Z_{4.4} = 83$	
4		$Z_{3.3} = 47$ $Z_{3.1} = 0$ $Z_{3.1} = 1179$ $Z_{3.3} = 50$ $Z_{4.4} = 58$ $Z_{4.2} = 48$ $Z_{4.0} = 1175$ $Z_{4.2} = 44$ $Z_{4.4} = 58$	
5		$Z_{3.3} = 4$ $Z_{3.1} = 109$ $Z_{3.1} = 1110$ $Z_{3.3} = 25$ $Z_{4.4} = 9$ $Z_{4.2} = 8$ $Z_{4.0} = 1179$ $Z_{4.2} = 24$ $Z_{4.4} = 114$	

Fig. 5

4/8

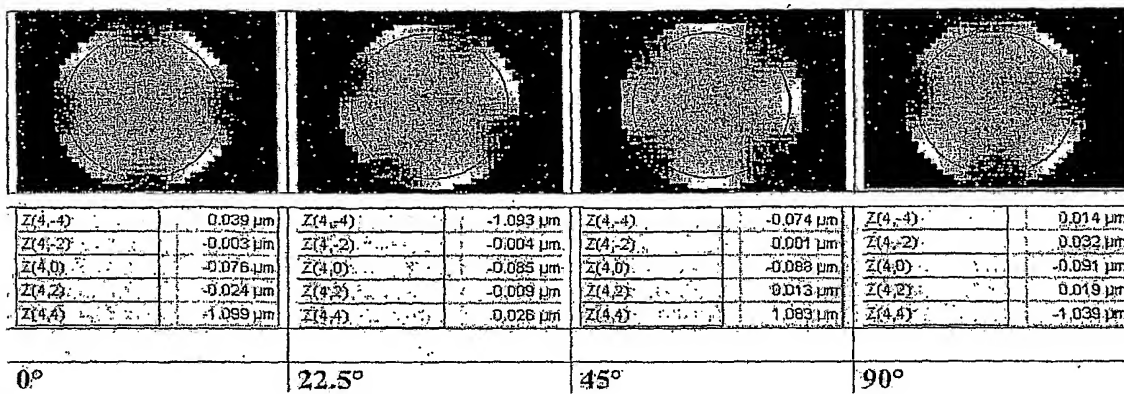


Fig. 6

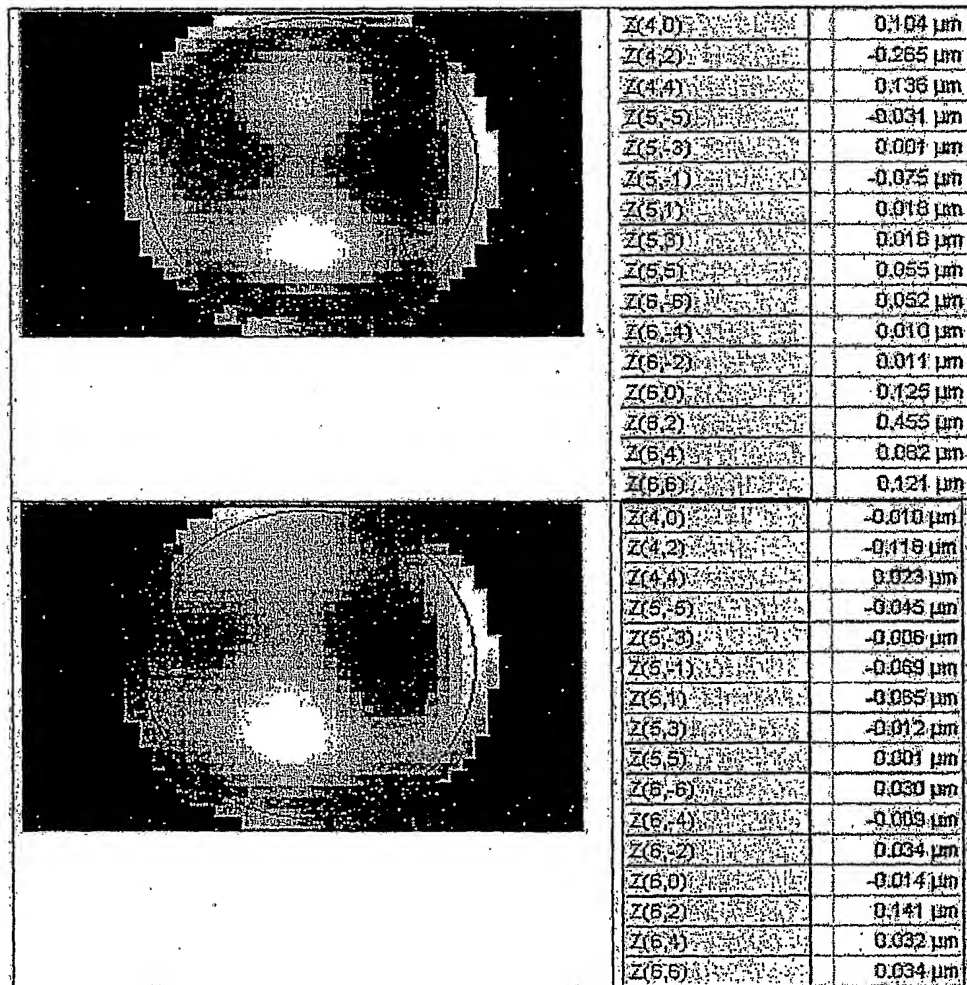


Fig. 7

5/8

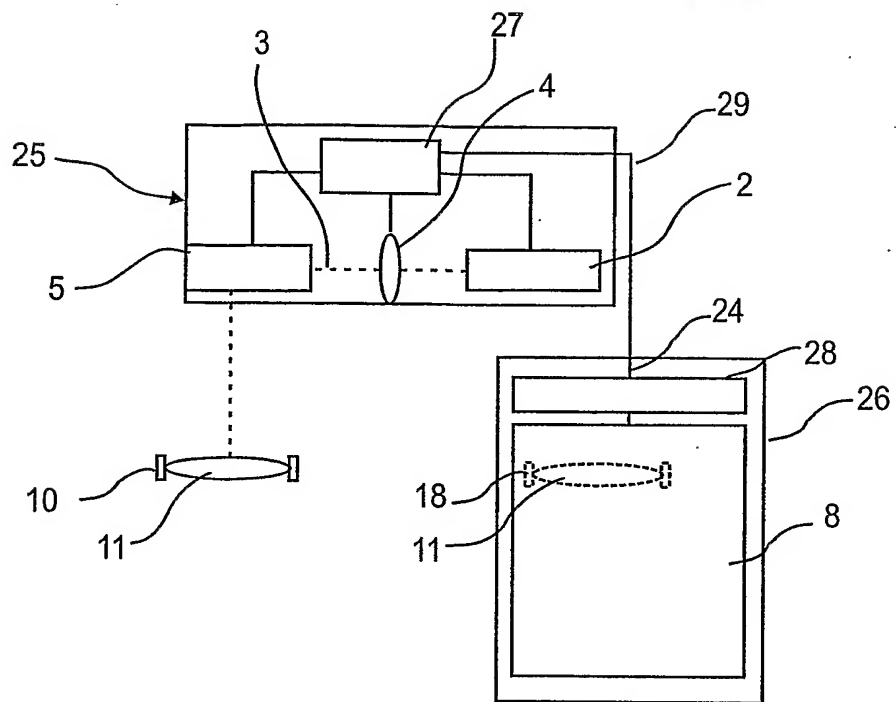


Fig. 8

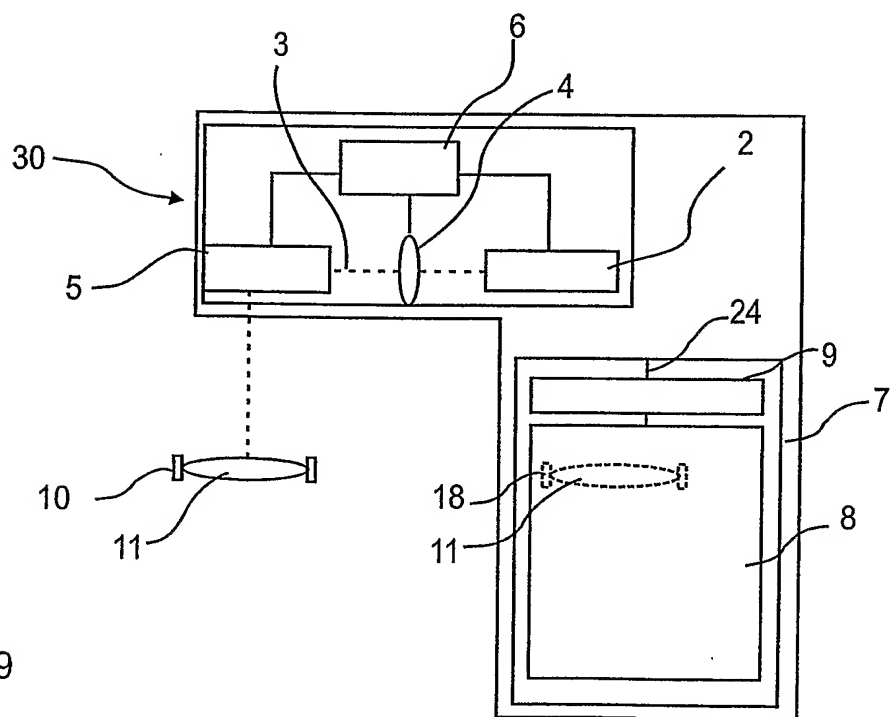


Fig. 9

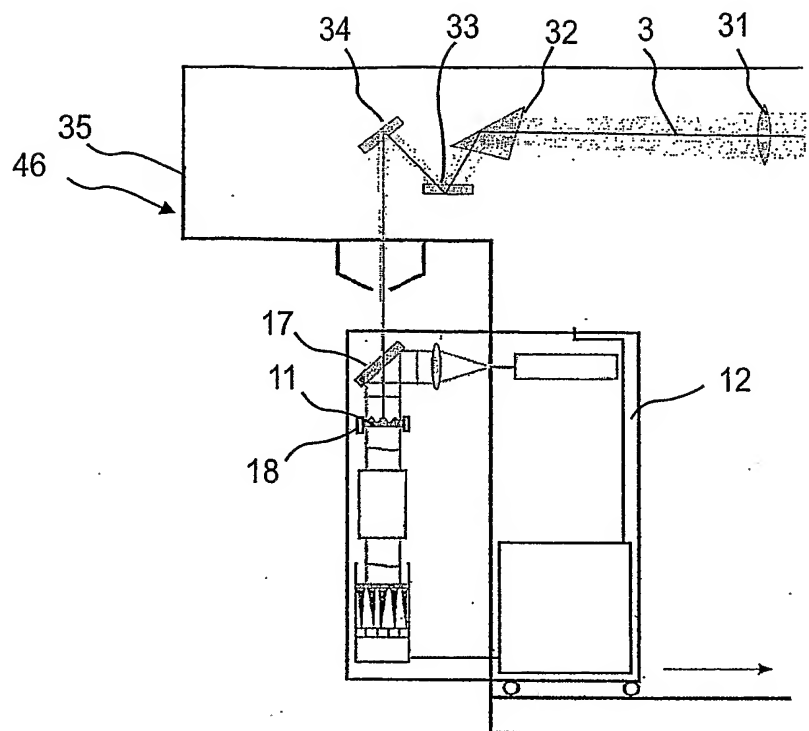


Fig. 10

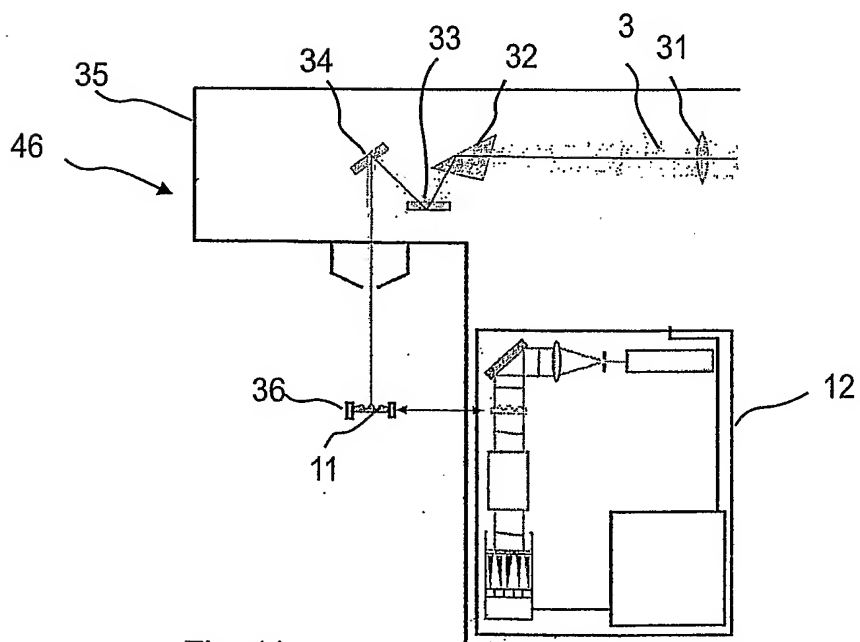


Fig. 11

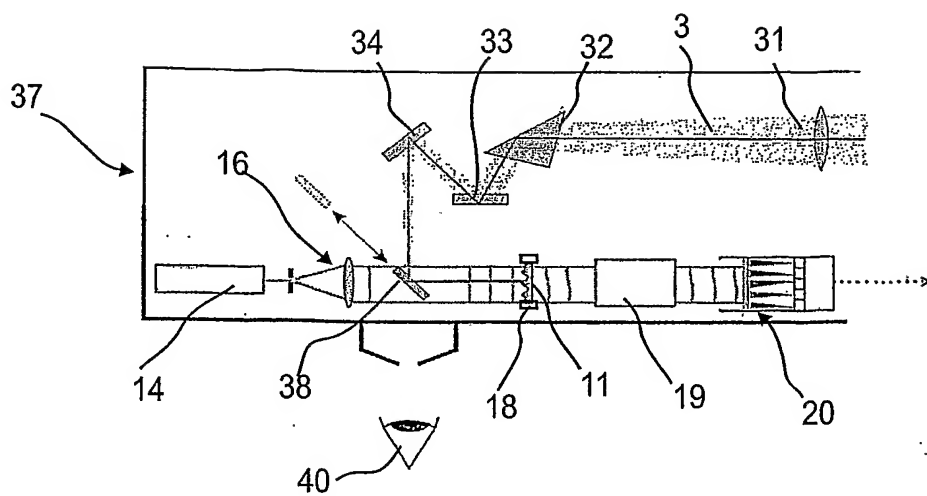


Fig. 12

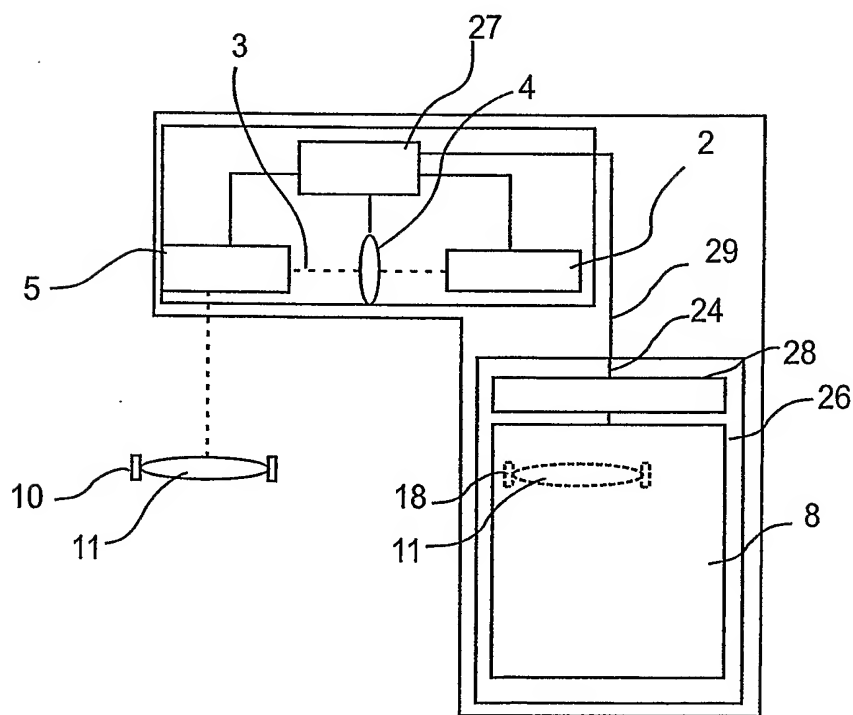


Fig. 13

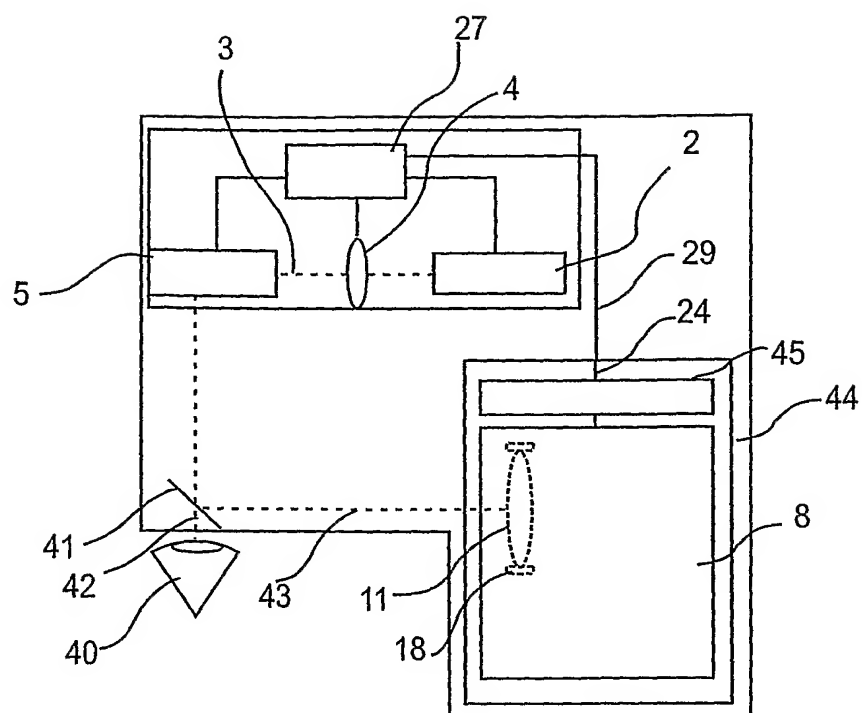


Fig. 14

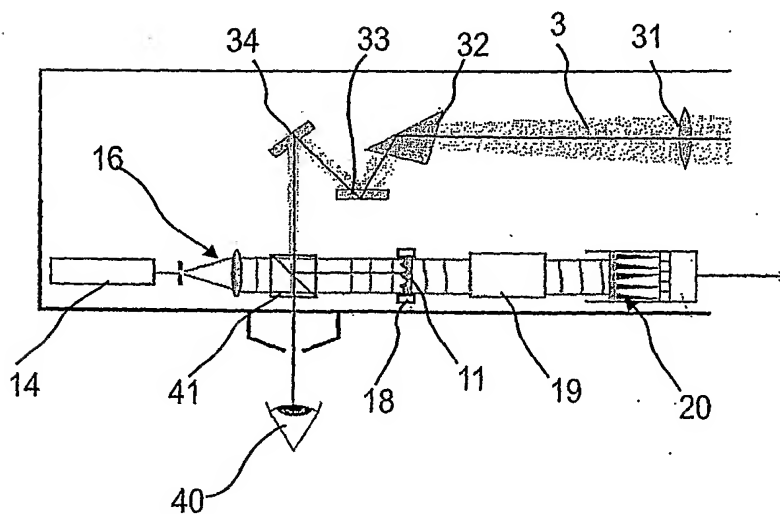


Fig. 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007733

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 A61F9/008 A61F9/009 A61F9/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 A61F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 231 496 A (ZEISS CARL ; ZEISS STIFTUNG (DE)) 14 August 2002 (2002-08-14) paragraphs [0016], [0030] - [0038]; figures -----	1,3,4, 7-9,12, 14-16, 18-24, 28-30, 32,33
X	DE 100 24 080 A (ASCLEPION MEDITEC AG) 22 November 2001 (2001-11-22)	23,25
A	paragraphs [0034] - [0040]; claims; figure 1 -----	1
A	EP 0 372 127 A (ESPERANCE FRANCIS A L) 13 June 1990 (1990-06-13) abstract; figures -----	1,23
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 October 2004

Date of mailing of the international search report

09.12.2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Vänttinen, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/007733

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A,P	<p>WO 03/101355 A (CARL ZEISS MEDITEC AG ; MAEUSEZAHN HOLGER (DE); SCHROEDER ECKHARD (DE)) 11 December 2003 (2003-12-11) abstract; claims</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1,23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/007733

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1231496	A	14-08-2002	US 5493109 A	20-02-1996
			EP 1231496 A2	14-08-2002
			DE 69528024 D1	10-10-2002
			DE 69528024 T2	09-10-2003
			EP 0697611 A2	21-02-1996
			ES 2180597 T3	16-02-2003
			JP 8066421 A	12-03-1996
			US 6004314 A	21-12-1999

DE 10024080	A	22-11-2001	DE 10024080 A1	22-11-2001
			AU 6701400 A	13-03-2001
			CA 2346982 A1	22-02-2001
			CN 1320026 T	31-10-2001
			WO 0112114 A1	22-02-2001
			EP 1119324 A1	01-08-2001
			JP 2003506196 T	18-02-2003
			US 6616275 B1	09-09-2003

EP 0372127	A	13-06-1990	EP 0372127 A1	13-06-1990

WO 03101355	A	11-12-2003	WO 03101355 A1	11-12-2003

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

EP2004/007733

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☒ Claims Nos.: 10, 11
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

PCT Rule 39.1(iv) – method for treatment of the human or animal body by surgery and therapy.
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

See additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-9, 12-33

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

The International Searching Authority has determined that this international application contains multiple (groups of) inventions, namely

1. Claims 1-9, 12-13

method and apparatus for determining an actual value of a system parameter or a deviation from a desired value of at least one system parameter of a system for treatment of the eye.

2. Claims 34-48

system for treatment of the eye.

Continuation of II.1

Claims: 10, 11

PCT Rule 39.1(iv) – method for treatment of the human or animal body by surgery and therapy.

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007733

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 A61F9/008 A61F9/009 A61F9/01

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 A61F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 231 496 A (ZEISS CARL ; ZEISS STIFTUNG (DE)) 14. August 2002 (2002-08-14) Absätze [0016], [0030] - [0038]; Abbildungen	1,3,4, 7-9,12, 14-16, 18-24, 28-30, 32,33
X	DE 100 24 080 A (ASCLEPION MEDITEC AG) 22. November 2001 (2001-11-22)	23,25
A	Absätze [0034] - [0040]; Ansprüche; Abbildung 1	1
A	EP 0 372 127 A (ESPERANCE FRANCIS A L) 13. Juni 1990 (1990-06-13) Zusammenfassung; Abbildungen	1,23
	----- -/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. Oktober 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09.12.2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaar 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Vänttinen, H

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A,P	WO 03/101355 A (CARL ZEISS MEDITEC AG ; MAEUSEZAHN HOLGER (DE); SCHROEDER ECKHARD (DE)) 11. Dezember 2003 (2003-12-11) Zusammenfassung; Ansprüche -----	1,23

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/007733

Feld II Bemerkungen zu den Ansprüchen, die sich als nicht recherchierbar erwiesen haben (Fortsetzung von Punkt 2 auf Blatt 1)

Gemäß Artikel 17(2)a) wurde aus folgenden Gründen für bestimmte Ansprüche kein Recherchenbericht erstellt:

1. ☒ Ansprüche Nr. 10, 11
weil sie sich auf Gegenstände beziehen, zu deren Recherche die Behörde nicht verpflichtet ist, nämlich
Regel 39.1(iv) PCT - Verfahren zur chirurgischen und therapeutischen Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers
2. ☐ Ansprüche Nr.
weil sie sich auf Teile der internationalen Anmeldung beziehen, die den vorgeschriebenen Anforderungen so wenig entsprechen, daß eine sinnvolle internationale Recherche nicht durchgeführt werden kann, nämlich
3. ☐ Ansprüche Nr.
weil es sich dabei um abhängige Ansprüche handelt, die nicht entsprechend Satz 2 und 3 der Regel 6.4 a) abgefaßt sind.

Feld III Bemerkungen bei mangelnder Einheitlichkeit der Erfindung (Fortsetzung von Punkt 3 auf Blatt 1)

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, daß diese internationale Anmeldung mehrere Erfindungen enthält:

siehe Zusatzblatt

1. ☐ Da der Anmelder alle erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht auf alle recherchierbaren Ansprüche.
2. ☐ Da für alle recherchierbaren Ansprüche die Recherche ohne einen Arbeitsaufwand durchgeführt werden konnte, der eine zusätzliche Recherchegebühr gerechtfertigt hätte, hat die Behörde nicht zur Zahlung einer solchen Gebühr aufgefordert.
3. ☐ Da der Anmelder nur einige der erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren rechtzeitig entrichtet hat, erstreckt sich dieser internationale Recherchenbericht nur auf die Ansprüche, für die Gebühren entrichtet worden sind, nämlich auf die Ansprüche Nr.
4. ☒ Der Anmelder hat die erforderlichen zusätzlichen Recherchegebühren nicht rechtzeitig entrichtet. Der internationale Recherchenbericht beschränkt sich daher auf die in den Ansprüchen zuerst erwähnte Erfindung; diese ist in folgenden Ansprüchen erfaßt:
1-9, 12-33

Bemerkungen hinsichtlich eines Widerspruchs

- ☐ Die zusätzlichen Gebühren wurden vom Anmelder unter Widerspruch gezahlt.
- ☐ Die Zahlung zusätzlicher Recherchegebühren erfolgte ohne Widerspruch.

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Die internationale Recherchenbehörde hat festgestellt, dass diese internationale Anmeldung mehrere (Gruppen von) Erfindungen enthält, nämlich:

1. Ansprüche: 1-9,12-33

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung eines Ist-wertes eines Systemparameter oder einer Abweichung von einem Soll-Wert wenigstens eines Systemparameters eines Augenbehandlungssystems

2. Ansprüche: 34-48

System zur Behandlung eines Auges

WEITERE ANGABEN

PCT/ISA/ 210

Fortsetzung von Feld II.1

Ansprüche Nr.: 10,11

Regel 39.1(iv) PCT - Verfahren zur chirurgischen und therapeutischen
Behandlung des menschlichen oder tierischen Körpers

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/007733

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 1231496	A	14-08-2002	US	5493109 A	20-02-1996
			EP	1231496 A2	14-08-2002
			DE	69528024 D1	10-10-2002
			DE	69528024 T2	09-10-2003
			EP	0697611 A2	21-02-1996
			ES	2180597 T3	16-02-2003
			JP	8066421 A	12-03-1996
			US	6004314 A	21-12-1999

DE 10024080	A	22-11-2001	DE	10024080 A1	22-11-2001
			AU	6701400 A	13-03-2001
			CA	2346982 A1	22-02-2001
			CN	1320026 T	31-10-2001
			WO	0112114 A1	22-02-2001
			EP	1119324 A1	01-08-2001
			JP	2003506196 T	18-02-2003
			US	6616275 B1	09-09-2003

EP 0372127	A	13-06-1990	EP	0372127 A1	13-06-1990

WO 03101355	A	11-12-2003	WO	03101355 A1	11-12-2003